PORT SAID UNIVERSITY

# كهرباء المدن

# City Electricity

**Mohamed Hamed**

**[2003]**

This book presents the concept of application and installation for the electric network in the distribution systems of a city. It illustrates the standard load curves in cities as well as the distribution target for less loss. The cables have included as a major item inside cities for electric distribution. The illumination of normal domestic and streets is studied in details. Also, the theatre as well as the traffic utility and control would be explained. 

رقم الإيداع 11616 / 2002
ISBN 977 – 6079 – 06 - 7

المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

## مقدمة

تعد كهربة المدن من الموضوعات التي تحظى باهتمام المتخصصين في الآونة الأخيرة ولا بد وأن تدخل ضمن أعمال التخطيط خصوصا ومع النشاط التعميري المتزايد مما يضع هذا الموضوع علي قائمة التخطيط الكهربي وهو ما يزيد من ضرورة التعرض لهذا الكتاب بما تضمنه من معلومات وأساسيات هندسية للنظر فيه من الناحية التكنولوجية والتخطيطية.

ولما كانت الإضاءة أكثر الأحمال تأثيرا في المدن عموما فقد حاولنا إلقاء الضوء علي الأحمال من الناحية القياسية ثم كيفية تحويلها إلي أحمال واقعية مطابقة للواقع ومتمشية مع التخطيطي السليم ثم التوجه بكيفية نقل هذه الأحمال داخل المدينة عبر كابلات تحت أرضية لحماية الأفراد والمواطنين القاطنين بها وتعرضنا بشكل أكبر وضوحا مع هندسة الانارة والتي تتبع في إنارة الشوارع ومنها تم التحول إلي الهندسة الخاصة بالتحكم في الإضاءة من خلال أجهزة خاصة وكيفية التحول بها والتعامل مع إشارات المرور في المدن والتغلب علي مشكلة التتالي المتتابع للإشارة الخضراء وفتح الطريق مع السرعات الثابتة للسيارات والناقلات داخل طرق المدينة.

تظهر أهمية موضوع الإضاءة مع ظهور المصابيح الليد والموفرة للطاقة عليالرغم من أن هذا الكتيب لم يتعرض لها بل شرح أسس الإضاءة التقليدية مع تنوعها علي مختلف النواحي.

المادة العلمية هنا قد تكون مفيدة للطلاب المتخصصين والمهندسين كما أنها تضع هذه الموضوعات أمام القاريء العادي كي يفهم ما تحتويه من أسس جوهرية للشبكات الكهربائية داخل المدن.

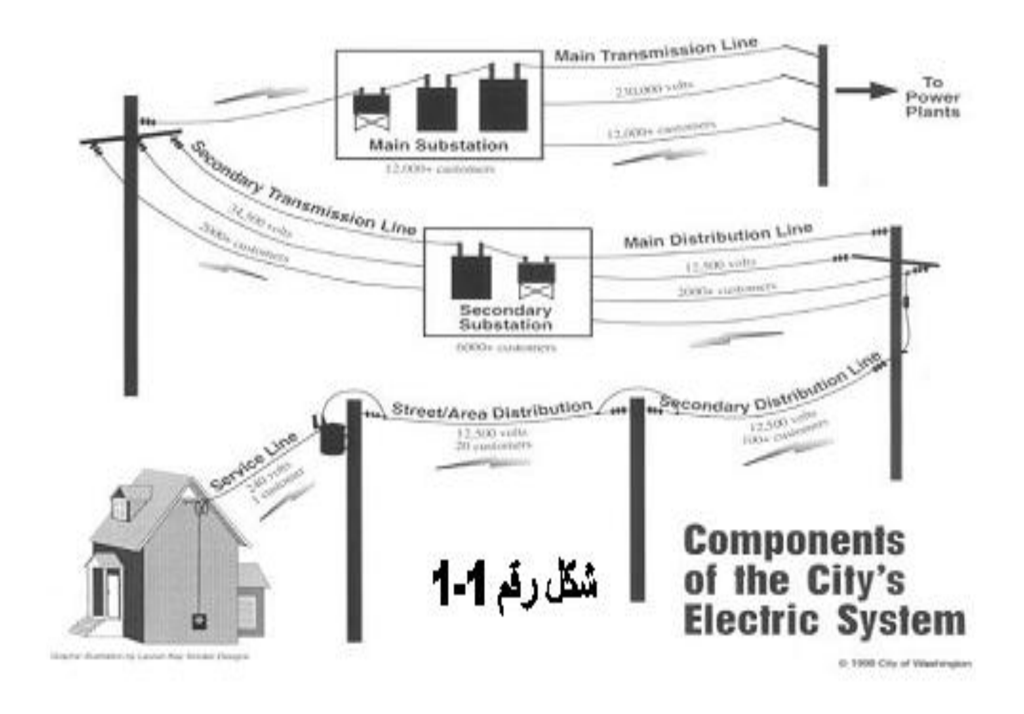
## الفصل الأول

# مدخلات الشبكات الكهربية في المدن
# Electric Networks Input in Cities

الشبكات الكهربية داخل المدن تختلف عن تلك خارجها ففي خارجها نستطيع أن نعتمد علي الخطوط الهوائية سواء علي مستوى الجهد العالي والفائق بجانب الجهد المنخفض بينما داخل المدن لا يجوز هذا النمط من نقل الطاقة من مكان ما داخل المدينة إلي أخرى بل يجب أن تستبدل تلك الخطوط الهوائية بغيرها من الكابلات سواء كانت كبلات جهد عالي أو منخفض وهو ما يجب اتباعه . من الناحية الأخرى نرى أن الامتداد العشوائي العمراني بجانب الضرورة الملحة للتعمير المنتظم في ضواحي المدن المختلفة تدخل المباني في إطار الخطوط الهوائية ذات الضغط العالي ومع انتشار هذا التصور دخلت الخطوط الهوائية داخل المدن ورفعت من معامل الخطورة لتواجد مثل هذه الأسلاك بجوار المدنيين ومحال إقامتهم.

من هنا يلزم من الضرورة إما إحلال الأسلاك الهوائية بالبديل من الكبلات الكهربية أو بوضع مناطق عازلة بين مسار هذه الأسلاك والأفراد ومعداتهم وأجهزتهم ( أنظر الشكل رقم 1-1 ). الحل الأخير يعتبر من الصوبة البالغة لتحقيقه نظرا للحاجة إلي نظام إداري متشدد وقد يستحيل تنفيذه أو اتباعه ومن ثم يصبح من الأفضل اللجوء إلي إحلال تلك الأسلاك بالكبلات تحت الأرضية .

وبالرغم من ذلك فيمكن في بعض المناطق عند عبور الشوارع سواء بجوار المدن أو خارجها أو في الضواحي أن توضع طبقة أسلاك أفقية تحت أسلاك الجهة العالي كما لو كانت أرضية متكاملة لا تسمح بسقوط أي من أسلاك الجهد العالي إلي الآرض حماية للأفراد ومعداتهم. كما أن نوعية الأبراج التي تتصل بها هذه الأسلاك العابرة للطرق لا بد وأن تكون من نوع أبراج الشد وهذه هي الضمانات الهندسية لتأمين عبور المشاة أو السيارات أو الناقلات عموما.




شكل رقم 1-1

في المدن نحتاج إلي توزيع منتظم للقدرة داخل المدن ومن ثم نضع النقاط التالية أساسا لوضع التخطيط السليم لتوزيع القدرة الكهربية في المدن .

# 1-1 : الأحمال النمطية STANDARD LOADS

**تتفاقم الكميات المستهلكة بصورة متزايدة لجانب ارتفاع نسبة الاعتماد علي الأجهزة الكهربائية لخدمة البشرية في كافة الميادين وقد صاحب ذلك حالتين من التغير الهام وهما الشكل العام للاستهلاك اليومي للطاقة الكهربائية ونسبة التداخل بين النوعيات المختلفة من الأحمال الكهربائية ، ويقدم هذا الكتيب شرحا علميا وهندسيا لهذين المحورين مع تغطية كل الموضوعات ذات العلاقة معهما مبينا مدي أهمية التعامل مع هذه الموضوعات سواء في مجال التخطيط أو التصميم . يعتبر هذا الكتاب نافعا للمهندسين العاملين في مجال التخطيط والتصميم والتنفيذ بشكل خاص ولمهندس الكهرباء عموما كما يستفيد منه الطلاب في كليات الهندسة والمعاهد الفنية وكذلك المدارس الفنية وهو مبسط لدرجة كبيرة مساهما في إزالة عثرات اللغة الأجنبية والتعامل المباشر مع أدق البيانات باللغة العربية يعين في الفهم .**

**تعتمد أعمال التخطيط planning الصحيحة علي دراسة كل ما هو متوقع مستقبلا طبقا للقواعد المنظمة لبناء الهيكل ذاته ويزيد علي ذلك أن نوضع في الاعتبار كل المفاجآت والتوقعات غير المنتظمة لكل الاحتمالات probabilities مستقبلا وتختلف هذه الأعمال حسب النوعية المطلوبة للدراسة وحيث أننا بصدد الشبكات الكهربائية electric networks فنتوجه إلي الأحمال الكهربائية electric loads وهي التي تعني الكثير للمصمم والمخطط غير أنها لم تلقي الاهتمام ا لكافي وتحصل هذه الأحمال علي وزنها من الشرح والتفصيل. وهنا نجد أنفسنا مضطرين للخوض في الفروع الأصلية لها بل والبدء من حيث المعني والمغزى وتعبر الأحمال الكهربائية تحديدا بقيمة الكمية الكهربائية Electric amount التي تتم دراستها أو الكمية المعنية بصرف النظر عن أنها طاقة energy أو قدرة power أو غيرهما ويتسع الأفق في هذا المجال عندما يكون الحديث عن الأحمال بصورة مطلقة كهربائية أم غيرها فنجدها تأخذ نفس المعني سواء كانت أحمال علي الكباري والجسورbridges فنجدها تتمثل بكميات الوزن المارة علي عليه سواء كانت وزن weight أو عزم moment أو غيرهما ولنفس الحمل ولكن في تخصص آخر مثل المرور traffic فتعني كميات أو عدد السيارات المارة وعندما ننتقل إلي الهاتف telephones فنجد أعداد المكالمات التي تتم في آن واحد والتحليل هنا يصلح من حيث المبدأ لأي تخصص ما دام التعبير عن هذه الأحمال داخل كل مجال يدور بنفس الأسلوب ولهذا نجد أن التعميم جوهري حتى نحصل علي أقصى مفهوم شامل ويكون صحيحا من الناحية الهندسية.**

**و جدير بالذكر أن كلمة أحمال تشمل المعني أي أنها تتكون من أحمال ولذلك نذكر مكوناتها الأصلية بالمسمى" الأحمال القياسية standard loads " حيث أنها تمثل أحمالا بالفعل قياسية الطابع نمطية المعني وبهذا نصل إلي المعني تحديدا حيث يجب البدء في دراسة الأحمال كلها من هذه الأحمال القياسية . هكذا نجد البداية بتصنيف الأحمال القياسية بصرف النظر عن قيمتها فنأخذها تبعا للتحميل الكهربي كنسبة مئوية من القيمة القصوى للحمل ولذلك نسميها أحمالا قياسية مطلقة لأنها بدون وحدات هندسية أو فنية ، وهذا ما سوف نسرده في الفقرات التالية حيث نأخذ ستة أصناف من تنويع الأحمال القياسية لنتدارسها سويا وليصبح معها مفهوم الأحمال القياسية واضحا جليا لا يحتاج إلي المزيد من الشرح.**

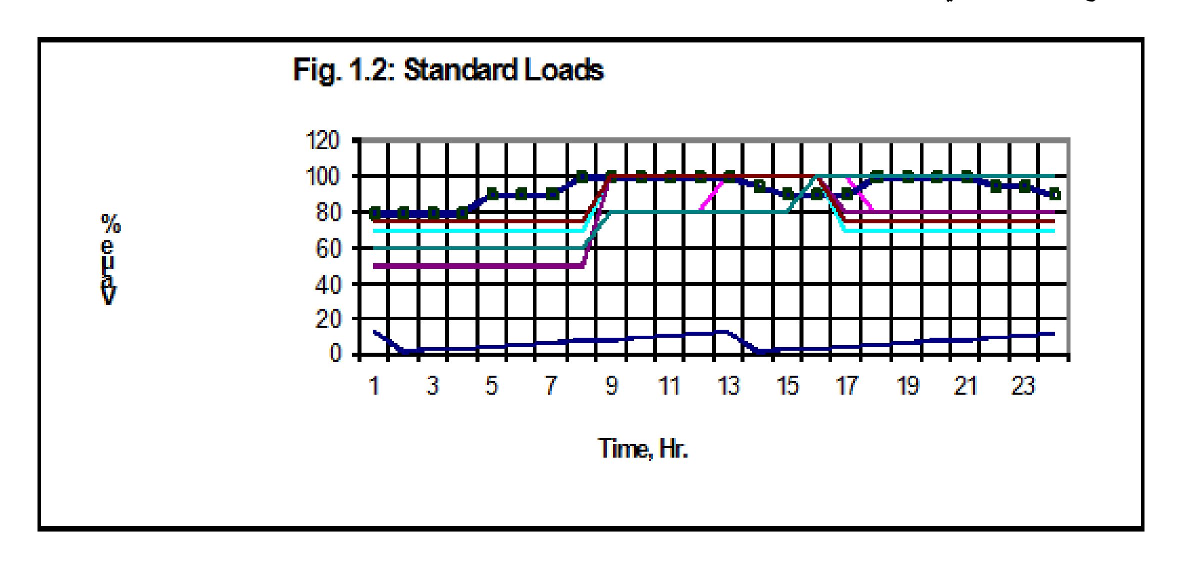
## 1- الأحمال الصناعية Industrial Loads

**تمثل الأحمال الصناعية تلك الخاضعة لأعمال الصناعة بشكل عام ولذلك نضعها في شكل أكثر تفصيلا علي النحو التالي:**

**أ ) مصانع كيميائية : وهي الصناعات الكيميائية أو تلك الصناعات التي تعمل بأسس كيميائية فمنها منتجات المواد الكيميائية أو البويات أو الأدوية وغيرهم .**
**ب ) مصانع إنتاجية : وتعبر عن كل الصناعات التي تتم فيها العمليات الصناعية بالأسلوب الإنتاجي مثل مصانع الملابس الجاهزة أو مصانع العبوات سواء الغذائية أو بشكل عام . كما أن هذه الأحمال تتصرف بشكل شبه موحد وثابت فنجدها علي مدار اليوم الواحد تأخذ ثلاث مستويات من الطاقة المستهلكة فنجدها مثل النظام ثلاثي الوردية فهي نهارا ومن بداية الوردية الأولي ومن السابعة صباحا تصل الي قمة الاستهلاك وينخفض مع انتهاء إلي نسبة أقل 90 % لفترة محدودة يكون فيها العمل علي مستوي أدق لكل ما تم إنتاجه نهارا فتعود الي أعلي استهلاك ثم تنخفض ليلا وحتى الصباح وتدور الدورة الزمنية يوميا بنفس الأسلوب ولذلك يكون التغير فيها ضئيلا ولا يمثل وزنا ذو تأثير داخل الشكل العام للحمل**
**ج ) الصناعات : تمثل الصناعات الضخمة كنوع من الصناعات الهامة مثل الحديد والصلب أو الألومنيوم أو الأسمدة وغيرها . وهذه النوعية تكون غير متغيرة تقريبا من ناحية الاستهلاك الكهربائي إلا في أضيق الحدود فتأخذ مستويين**

هما القيمة القصوى والنزول إلي تخفيضا بقيمة 25 %   كما نراها في الشكل 1-2 حيث الأحمال 100 % نهارا ثم 75 % ليلا .

كما أن الصناعات الخفيفة وهي النوعية منتشرة بكثرة وتعمل علي كافة المستويات سواء القطاع العام أو الخاص فهي تشمل الصناعات الكهربية الإلكترونية مثل مصانع المذياع والتليفزيون ومكونات الكمبيوتر وملحقاته وغير ذلك من الدوائر التكاملية والمطبوعة وهكذا فهي تعبر عن قطاع كبير شامل من الصناعة وتعمل غالبا في فترة عمل واحدة وهي الفترة الصباحية . وهي تعمل فترة نهارية بمعدل 100 % لنصف المدة وحوالي 80 % منها في الباقي بينما باقي اليوم بلا عمل . والصناعات الغذائية وهي التي كثرت وتزايدت في العقود الأخيرة فهي تستهلك القسط الأكبر من حياة البشرية علي البسيط مما يضعها في مقدمة الصناعات الحديثة بعد تكنولوجيا الإلكترونيات ولهذا أدخلت هذه الصناعة نفسها داخل الوسط الصناعي وبشكل فعال رغم أنف المعارضين ولذلك أصبحت أساسية بالنسبة للصناعة ، ويدخل في إطار الصناعات الغذائية التعليب الغذائي من الصلصلة والمياه الغازية والهامبورجر والمأكولات نصف المطهية وغيرها ونري في شكل 1-2 التسلسل لهذه النوعية من الأحمال . من هذا المنطلق وعلي أساس التصرفات الهندسية المتشابهة يكون من الممكن أن نضح أشكالا نمطية للتصرف الكهربائي من الناحية الفنية وكيفية استهلاك كل منها للطاقة الكهربية وهو ما نستطيع إطلاق مسمي الأحمال القياسية عليها .



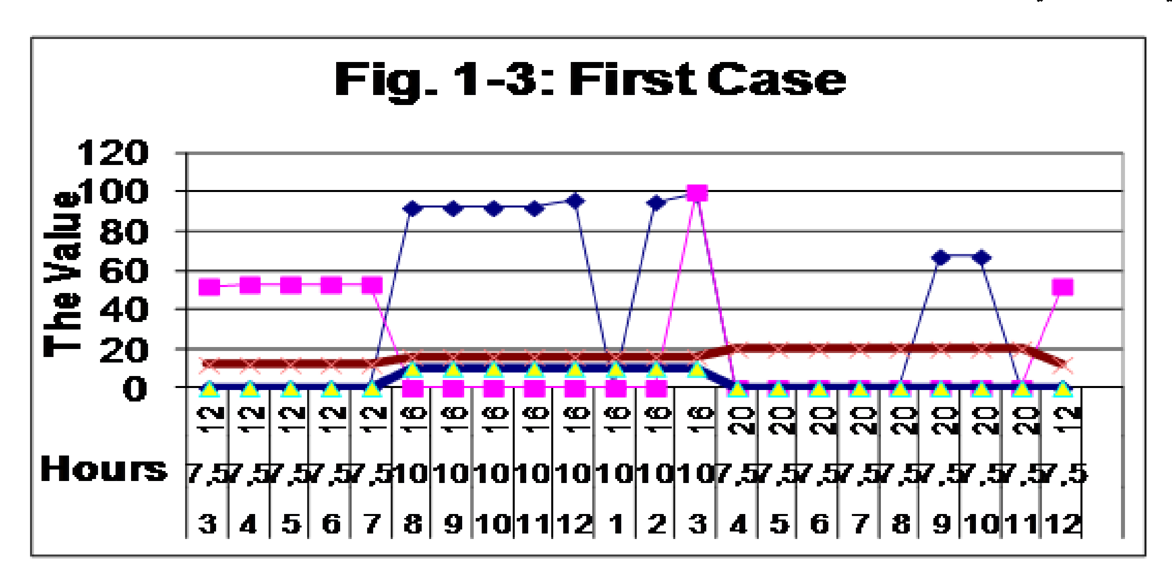

جدول رقم 1- 1 : النسبة المئوية لمكونات الأحمال القياسية داخل الأحمال الصناعية

| الحالة | خفيفة | كيميائية | ثلاث ورادي | ورديتين | ثقيلة | غذائية |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الأولي | 10 | 5 | 30 | 30 | 20 | 5 |
| الثانية | 20 | | 10 | 10 | 40 | 20 |
| الثالثة | 20 | 10 | 20 | 20 | 10 | 20 |
| الرابعة | 10 | 20 | 30 | 20 | | 20 |
| الخامسة | 20 | 20 | | 20 | 20 | 20 |
| السادسة | 30 | 20 | 10 | 20 | 10 | 10 |

في الحقيقة تتجمع هذه النوعيات المختلفة من الأحمال القياسية وبالشكل الأساسي لتغيرها الزمني المشار إليه ولكن بنسب متباينة وتعتمد هذه النسب فيما بينها علي طبيعة المكان أو الموقع أو المدينة أو القرية فمثلا في المناطق الصناعية نجد أن نسبة الحمل الكهربائي بالطابع الصناعي أكثر من غيره لأن نسبة تواجده بين بقية الأحمال كبيرة وفي المناطق الصناعية ذاتها تتفاعل طبيعة الأعمال الصناعية من كيميائية إلي ثقيلة أو خفيفة حسب الأحوال ولذلك كان من الواجب علينا دراسة التأثيرات المختلفة لطبيعة الأحمال الكهربية عندما تتباين هذه الأحمال بقيمتها فيما بينها داخل الإطار الصناعي ذاته كما بالجدول 1-1 بعضا من هذه النسب للدراسة والتحليل .

نجد النسب المختلفة بين الأحمال القياسية المختلفة داخل الحمل الصناعي قد جاءت في ستة مجموعات ولكل من هذه الحالات الستة نري التجميع الشامل لك حالة ففي الحالة الأولي حيث أحمال الوردية تصل إلي 60 % بجانب الصناعة الثقيلة 20 % تعطي انطباعا عن موقع صناعي من الدرجة الأولي حيث نوعية الصناعة ومدة عملها فنري الحمل

الإجمالي من الناحية القياسية المطلقة (شكل 1-3) وهو ما يشير إلي الشكل النمطي للأحمال في هذه الحالة والتي تعبر بشكل عام عن ما هو متوقع عند بناء المواقع من هذا الطابع فتفيد إلي حد كبير في التخطيط لإنشاء الشبكات الكهربية .
أما مع الحالة الثانية حيث ترتفع نسبة الصناعة الثقيلة إلي40 % حيث نري الفارق بين الحالتين الأولي والثانية بشكل ملحوظ وإن كان بدرجة بسيطة نتيجة أن الأحمال بالوردية قريبة الشبه من تلك في الصناعة الثقيلة فيكون علينا النظر في التغير التالي .




بالتوجه ألي الحالة الثالثة نري انخفاضا ملحوظا في الصناعة الثقيلة وتوزيع الفارق علي الوردية والصناعة الخفيفة مما يضع لنا التأثير الفعال عند النزول بمستوي الصناعة الثقيلة وتأثير ذلك علي الأحمال الكهربية القياسية صناعية الطابع ( شكل 1-4) ، وجدير بالذكر أن هذه الأحمال سوف تستكمل دراستها في الفصل القادم حتى نصل ألي المفهوم الصحيح لأهمية دراسة الأحمال وطرزها وما يطرأ منها حديثا..

## 2- الأحمال الزراعية Agricultural Loads

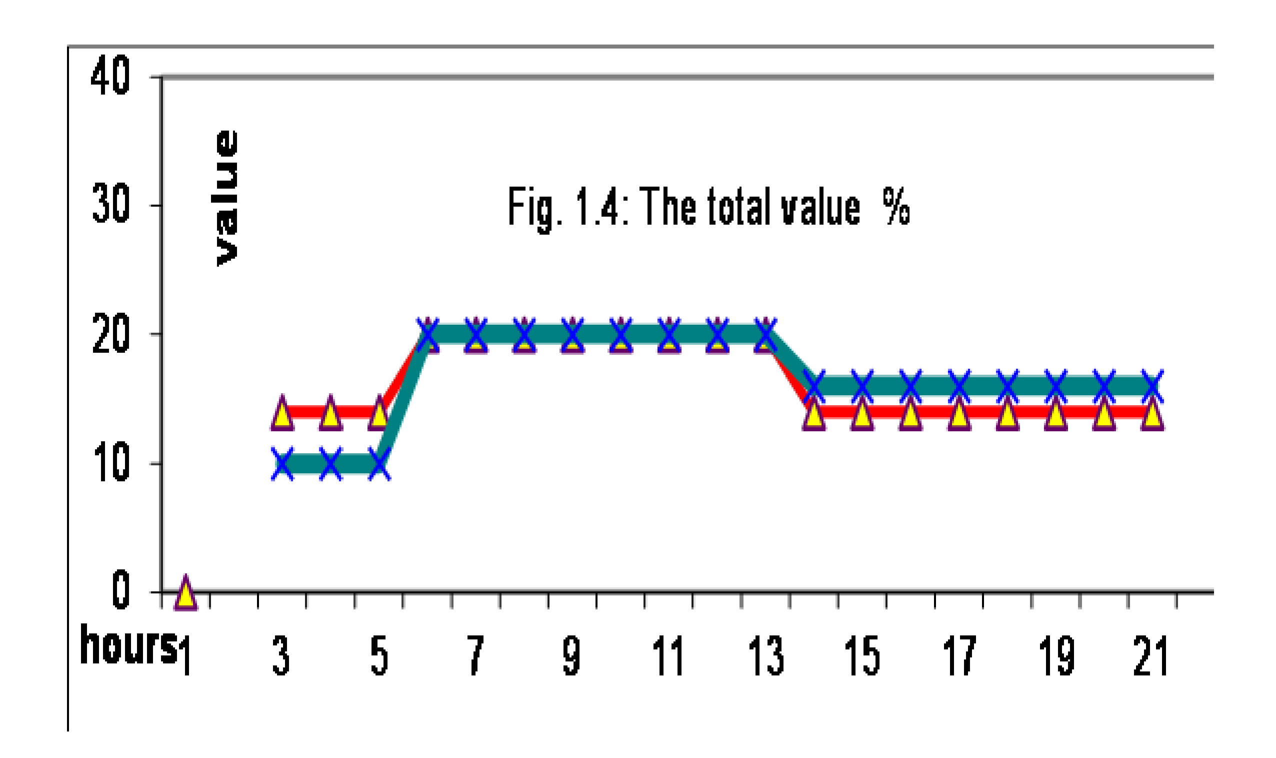
من أهم الأحمال الثانية والتي تأخذ الصبغة القياسية تأتي الأحمال الزراعية وهي تلك التي يمكن أن تتنوع إلي خمسة أنواع من حيث المبدأ علاوة علي أنه من الممكن أن تنضم إليها أحمال أخري عديدة ( الشكل رقم 1 – 5 ) :

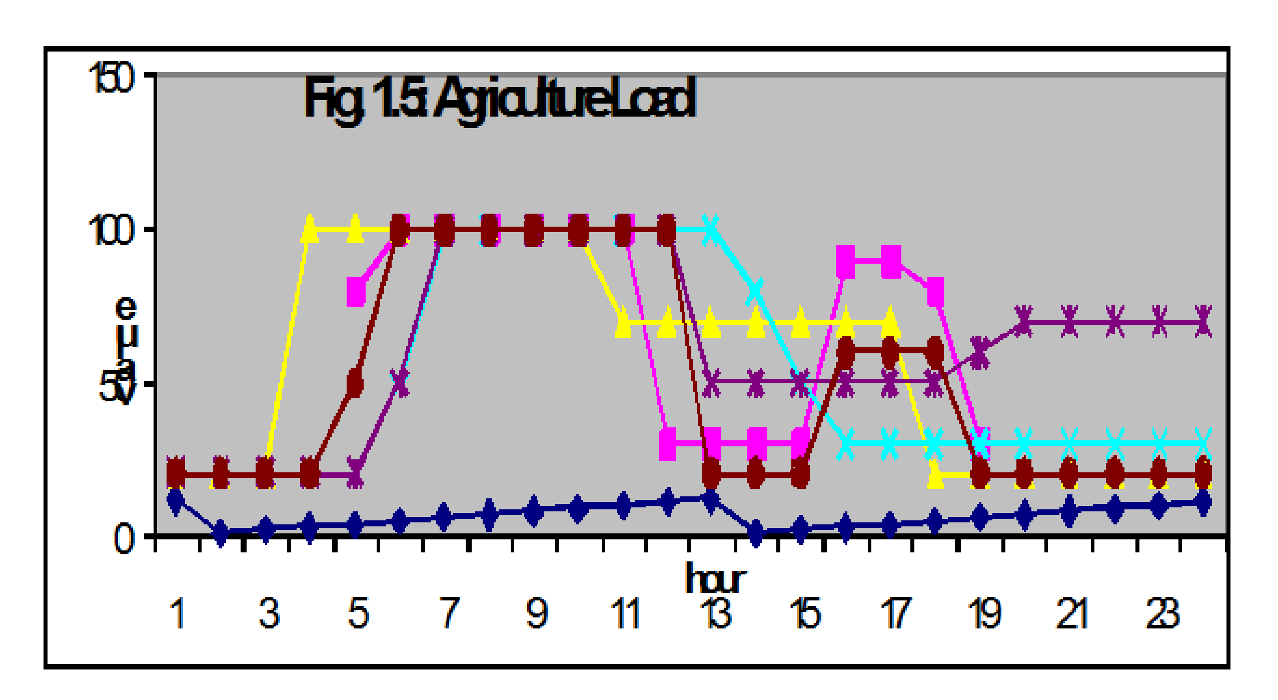
### أ ) الزراعة التقليدية

هي الأحمال التقليدية التي كانت متواجدة علي الساحة الزراعية منذ القدم والتي تعتمد علي نمط الطاقة المستهلكة في هذه النوعية فنري في الشكل الشكل الاستهلاكي للطاقة الكهربائية اعتمادا علي نظام الزراعة التقليدية والتي تبدأ أعمالها فجرا وتنتهي قبل حلول المساء.

### ب ) الزراعة الحديثة ( الميكنة )

تمثل الزراعة الحديثة حيث لجأت أساليب الزراعة نحو الزراعة الشاملة والعامة وتحويل كل أعمال الزراعة إلي الأسلوب الإنتاجي فنجدها تسمي الميكنة الزراعية وتأخذ النمط الاستهلاكي المبين حيث تعمل العمالة الزراعية ليلا ونهارا ولا تتوقف مثل التقليدية حيث ظهرت النظم الحديثة للزراعة في العقود الأخيرة نظرا للحاجة الملحة للإنتاج الزراعي الوفير لتغطية حاجات البشر والناس في كافة أنحاء البلاد فظهرت الابتكارات الحديثة ومنها صوب زراعية ويكون فيها التغير الكهربائي في الأحمال كما وردت وإن توقفت فتكون لفترة بسيطة وليس مثل العهد الماضي مما كان يفيد المنتجات الزراعية ويوفرها للمستهلك في كل الأوقات . كما تعتبر البساتين من أضل المواقع الزراعية في مصر علي وجه العموم خصوصا وإنها تدر من الربح الوفير علي ملاكها وقد أصبحت الأحمال الكهربية في كافة الشئون الزراعية ذات أهمية وقيمة عالية حيث تتوزع علي طول اليوم الواحد استغلالا للزمن والوقت وتوزيعا للعمل والدقة فيه.




## ج ) استصلاح الأراضي

**ظهرت في مصر أعمال استصلاح الأراضي منذ ثورة يوليو 1952 وقد زادت رقعة الأراضي المستصلحة وما زالت ولها من الأحمال الكهربائية حيث تتطور هذه النوعية من الأحمال وأصبحت تختلف عن ذي قبل . أخيرا وتجميعا لهذه الأحمال كافة في إطار التباين في نسبة المكونات داخل الأحمال الزراعية علي غرار ما تم بالنسبة للأحمال الصناعية فنأخذ ستة من الحالات المتباينة لتداخل هذه النوعيات من الأحمال الزراعية كما وردت في الجدول رقم 1-2 بدْا من التساوي التام بين كل الأحمال إلي اختفاء أي منها وغير ذلك .**

جدول رقم 1- 2 : النسبة المئوية لمكونات الأحمال القياسية داخل الأحمال الزراعية

| الحالة | تقليدية | حديثة | صوب | بساتين | استصلاح أراضي |
|---|---|---|---|---|---|
| الأولي | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| الثانية | 10 | 30 | 30 | 20 | 10 |
| الثالثة | 10 | 30 | 30 | 30 | |
| الرابعة | | 40 | 30 | 30 | |
| الخامسة | 20 | 10 | 10 | | 60 |
| السادسة | 10 | 10 | 10 | 10 | 60 |

ومن حالة التساوي بين مكونات الأحمال الزراعية القياسية نري التغير التلقائي لنوعية الأحمال الزراعية بالرغم من أنها أحمال عادة ما تكون ضئيلة داخل الأحمال كافة في المواقع المدنية إلا إنها تكون الأعظم في المناطق الصحراوية حيث استصلاح الأراضي ، كما أن الأحمال الزراعية تتزايد يوما بعد آخر لأن التطور العلمي لا يهدأ والهندسة الوراثية تؤتي بالثمار الجديدة وتستحدث المزروعات وتزيد منها كما وكيفا وتقدم للبشرية الحديث والمبتكر .

غير أن التغير في شكل الأحمال الكهربائية لذات الحمل بعد فترة ما قد يتغير نتيجة الابتكارات التي تظهر هنا وهناك فتزيد من أحمال نوعا وتقلل من الآخر وتضيف أنواعا بينما يختفي غيرها وهكذا فالعلم يسير ونحن نتبعه لنتطور معه ونضع الحلول القياسية لكل ما هو مبتكر وهذا واجبنا وعلينا ألا نهدأ مادام العلم عنوانا لنا . وتأتي الحالة الثانية حيث ترتفع فيها الأحمال الحديثة من صوب أو زراعة حديثة فنري الأحمال الأكثر يوميا وعلي مدار اليوم كاملا وقد تكون أكثر قليلا من تلك السابقة حيث كان التساوي ولذلك تظهر الأحمال القياسية عاملا أساسيا في كل الدراسات الكهربائية من حيث التخطيط وإنشاء الشبكات الكهربائية في المناطق الجديدة أو القديمة علي حد سواء .

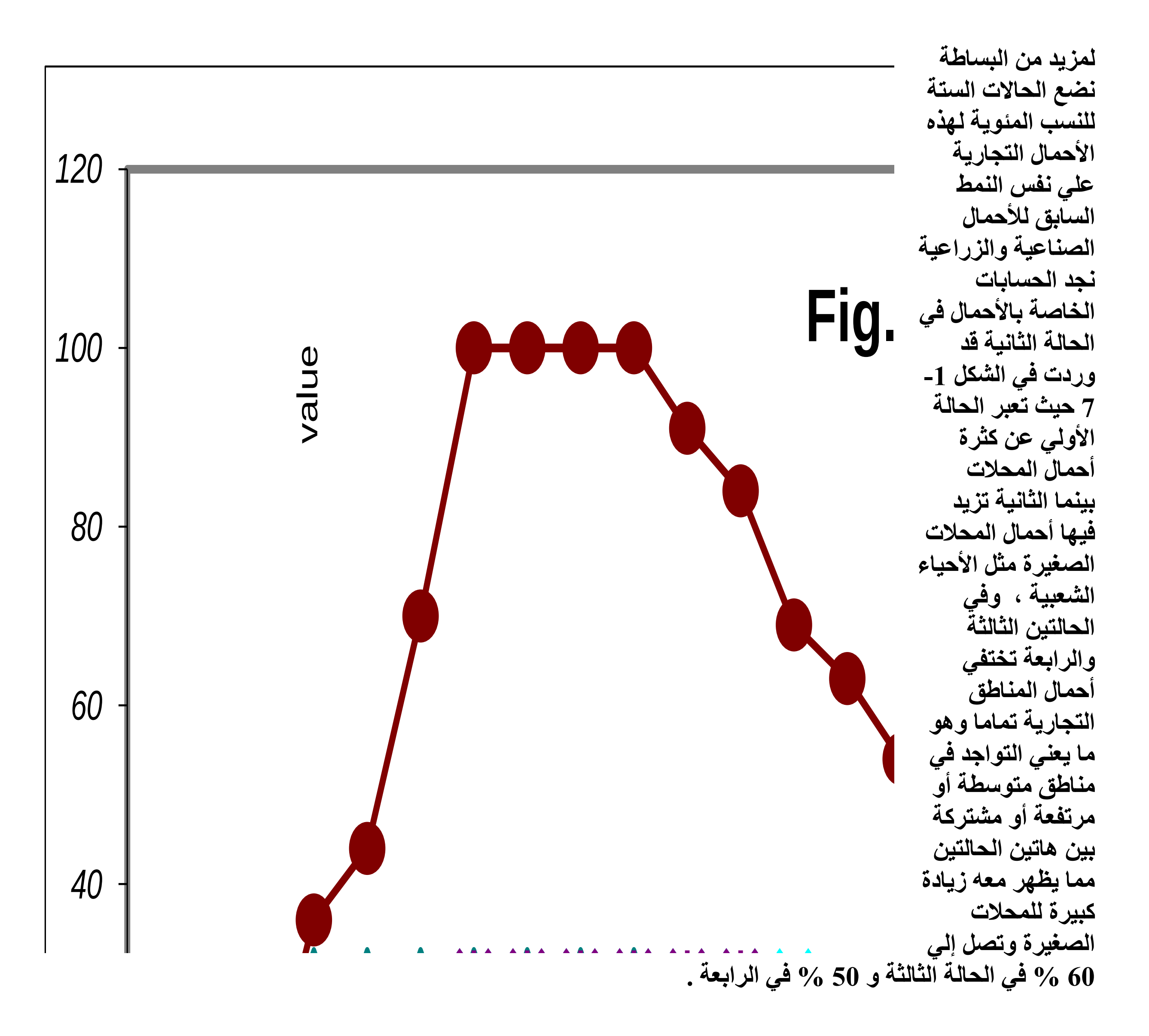
وهكذا نجد الأحمال المستحدثة تعتمد علي الطاقة الكهربائية أكثر من غيرها سواء التقليدية أو تلك التي تخص استصلاح الأراضي فجميعها أظهرت هذا غير أن التغير الحقيقي قد يختلف في وقت عن غيره أو من موسم إلي آخر فهذه الأحمال تأخذ الطابع النمطي والمتوقع نتيجة الاستهلاك المعتاد كل في مجاله وهي جميعا أحمال توقعية وليست حقيقية ولكنها تقارب الواقع إلي حد كبير حتى في حالة الاختلاف فيكون بسيطا ولذلك يتم الاعتماد علي هذه الأحمال القياسية عند التصميم وتعطي نتائج صحيحة دون خلل .

أما عن الحالة الخامسة عندما تختفي البساتين من الموقع فالأحمال القياسية التي تم حسابها بالنسب المقررة .وأخيرا نجد الحالة السادسة حيث ترتفع نسبة تواجد أحمال الاستصلاح أي تلك المناطق تحت الاستصلاح فتصل نسبة أحمال الاستصلاح إلي 60 % من إجمالي الأحمال .

## 3- الأحمال التجارية Commercial Loads

جدير بنا أن نتعرض لموضوع نوعية الأحمال التجارية وهي التي تتبع نظم التسويق والعرض ولذلك نجدها في تقسيم مبسط علي النحو الوارد في النقاط التالية كما يوضحها الشكل 1-6 ، ومنها المحال الصغيرة وهي التي تختص بصغار التجار وتشمل نوعيات عديدة مثل البقالة والألبان والإسكافي والأعمال التسويقية الصغيرة وغيرهم من الأعمال التي نراها في الطريق للبيع من مأكولات ومحلات التسالي وغيرهم. وجدير بالذكر أن الحمل الكهربائي يتلاشى بعد منتصف الليل وحتى الصباح ، وأيضا المحلات الضخمة والتي تمثل المحلات الكبيرة لكبار التجار ورجال الأعمال في مجال التسويق والبيع وهي عديدة ومنها علي سبيل المثال محلات البيع للقطاع العام مثل بنزايون والصالون الأخضر وكذلك محلات القطاع الخاص الكبيرة مثل السوبر ماركت وسلسلة الفروع الخاصة بالمأكولات الشهيرة ومحلات الأدوات المنزلية الكبيرة وغيرهم ،

كما نجد الأسواق الشاملة وهي مجموعة المحلات الكبيرة في مكان محدد معا لعرض المبيعات في كافة التخصصات والمجالات وهي أكبر من المحلات الضخمة حيث تزداد الأحمال الليلية عن سابقه من أجل الإضاءة والحماية الآلية ، وأخيرا تظهر المكاتب التجارية حيث تعتبر هذه المكاتب المقار الإدارية والمختصة بالبيع والشراء مثل البورصة ومقار عمل كبار التجار وتجار الجملة وغير ذلك وأحمالها قد تندمج داخل الأحمال الخاصة بالمناطق التجارية الشاملة وهذا لا يمنع أن تكون لها الأحمال الخاصة بها إلا أننا نكتفي هنا بأسلوب دمجها داخل الأسواق الشاملة للتبسيط .

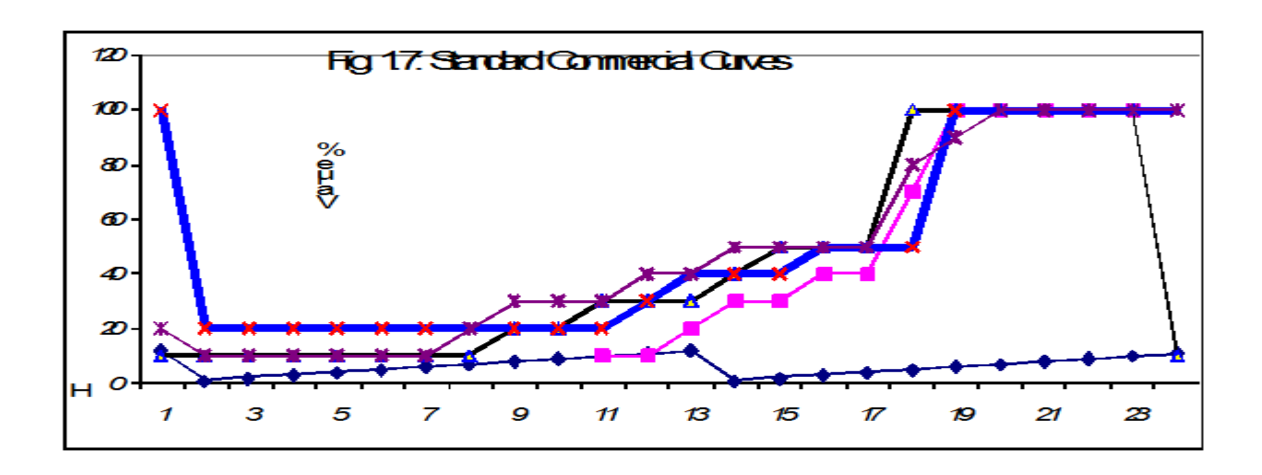



لمزيد من البساطة نضع الحالات الستة للنسب المئوية لهذه الأحمال التجارية علي نفس النمط السابق للأحمال الصناعية والزراعية نجد الحسابات الخاصة بالأحمال في الحالة الثانية قد وردت في الشكل 1- 7 حيث تعبر الحالة الأولي عن كثرة أحمال المحلات بينما الثانية تزيد فيها أحمال المحلات الصغيرة مثل الأحياء الشعبية ، وفي الحالتين الثالثة والرابعة تختفي أحمال المناطق التجارية تماما وهو ما يعني التواجد في مناطق متوسطة أو مرتفعة أو مشتركة بين هاتين الحالتين مما يظهر معه زيادة كبيرة للمحلات الصغيرة وتصل إلي 60 % في الحالة الثالثة و 50 % في الرابعة .

جدول رقم 1- 3 : النسبة المئوية لمكونات الأحمال القياسية داخل الأحمال التجارية

| الحالة | المحال الصغيرة | محال ضخمة | أسواق | مناطق تجارية |
|---|---|---|---|---|
| الأولي | 30 | 30 | 20 | 20 |
| الثانية | 40 | 30 | 20 | 10 |
| الثالثة | 60 | 30 | 10 | |
| الرابعة | 50 | 40 | 10 | |
| الخامسة | 30 | 40 | 20 | 10 |
| السادسة | 50 | 30 | 20 | |

أما الحالتان الخامسة والسادسة فنجدها حيث الأماكن الأكثر رقيا نوعا ما في المدينة عن الحالات السابقة جميعا فتظهر المناطق التجارية في الحالة الخامسة فتتعدد الحالات كي تسمح لنا بالرؤية الشاملة كما نستطيع وضع نسب أخري غير المعروضة هنا كل حسب الأحوال .



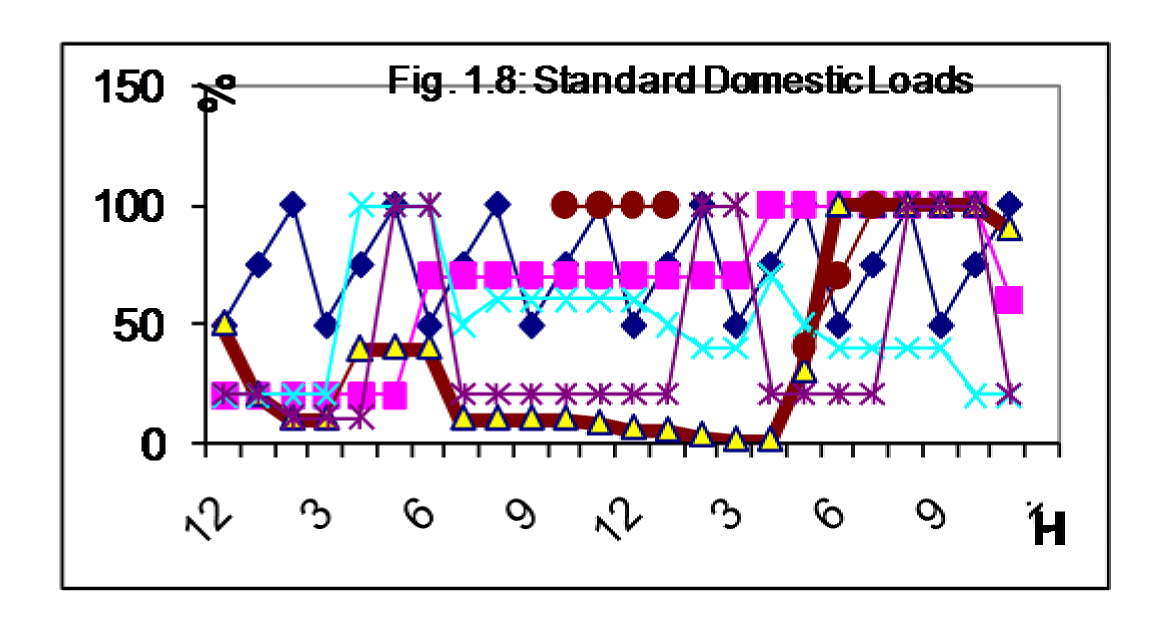

## 4 - الأحمال المنزلية Domestic Loads

تأتي الأحمال المنزلية في المرتبة الأولي بين كل الأحمال حيث أنها أساسية وتدخل في كل المواقع وعلي كل حال فإن الأحمال المنزلية بدأت في التغير عن ذي قبل وقد تتغير مرات أخري تبعا للتطور التكنولوجي المستمر لخدم الإنسان وخاصة في المنزل بدءا من استخدام الخلاط والمطحنة وحتى الغسالات والسخانات والتليفزيون والمذياع وأجهزة الفيديو والكمبيوتر إلي ما سوف يبزغ علينا في الغد ، من هنا نضع الفروع المختلفة للأحمال المنزلية علي نفس النسق السابق اتباعه في حلقات طبقا للتطور في الاعتماد علي الكهرباء عن ذي قبل (شكل 1-8).

### أولا : الثلاجات الكهربية

تمثل هذه الأحمال الجزء الأكبر والمؤثر داخل الأحمال القياسية من حيث انتشارها علي مستوي كبير بحيث قد لا يخلو منزلا من مثل هذه الثلاجة والتي أصبحت من الضروريات الأساسية بدلا من المسمي المعروف القديم وهو الكماليات وإضافة إلي ذلك نجد أن طبيعة استهلاك الطاقة المنزلية قد تباينت بشكل كبير عن ذي قبل .

### ثانيا: التكييف والتهوية في المدن



**تلجأ معظم الأسر إلي الاعتماد علي أجهزة التكييف مع التطور النسبي في الشبكات الكهربائية والتي تتواكب مع القدرة علي تغطية هذه النوعية من الأحمال وبدأت الأحمال الكهربية في التكييف تزداد بشكل مذهل بجانب الأسلوب التقليدي في التهوية وهو الذي يستخدم المراوح الكهربائية ، كما نجد أن الأحمال الكهربية في هذه النوعية تختلف شتاءا عن الصيف ولذلك نضع هنا الأحمال الشتوية لأنها الأكبر .**

## ثالثا: الإضاءة

**كذلك نري أن استخدام الإضاءة قد تباين عن الماضي وأخذ شكلا مغايرا كما نراه وبالرغم من ذلك إلا أن الطابع العام مازال كما هو وسوف نتطرق إلي هذه النوعية من الأحمال الكهربية فيما بعد من هذا الكتاب .**

## رابعا: الأحمال الخدمية في المدن

**تعتمد محطات المياه ( كأحد أنواع الخدمات الرئيسية في المدن ) وهي ما تخص سحب المياه من الترع والقنوات أو النهر وتنقيتها وتطهيرها ثم تخزينها وضخها إلي المرافق الأخرى سواء الحكومية أو الخاصة بما في ذلك المنازل ، ومن هنا نجد أن هذه الخطوات ككميات تعتمد علي الطريقة العامة لمعيشة الفرد وحاجته للمياه ومحاور استخدامه لها ولذلك نجد أن التغير اليومي في مستوي استهلاك الطاقة لتشغيل هذه المحطات له من الطابع الثابت تقريبا.**

### جدول رقم 1- 4 : النسبة المئوية لمكونات الأحمال القياسية

| حالة | مياه | كهرباء | صرف | إرسال | غاز | شارع | ورش | مترو | فنادق | مدارس | مستشفي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2 | 20 | 10 | 20 | 5 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 |
| 3 | 20 | 10 | 20 | 5 | | 10 | 10 | | 10 | 5 | 10 |
| 4 | 20 | 10 | 20 | 1 | | 9 | 5 | | 20 | 5 | 10 |
| 5 | 20 | 10 | 10 | 1 | | 10 | | | 20 | 9 | 20 |
| 6 | 20 | 20 | 20 | 1 | | 10 | | | | 14 | 15 |

## 1 - محطات تغذية الكهرباء

**يتزايد الإقبال علي استخدام الكهرباء مما أعطي الفرصة في انتشار محطات الكهرباء بكافة أنواعها في كافة الأرجاء وبذلك لا نجد مكانا يخلو من هذه المحطات وهي أيضا تستهلك الطاقة بشكل منظم يكاد يكون ثابتا ولذلك نرى التغير اليومي لاستهلاك الكهرباء في هذه المحطات وهو ما يضاف إلي قطاع الخدمات وإن كانت تتداخل هذه الأحمال بنسبة شبه ثابتة بين بقية الأحمال كما جاءت الحالات الست في الجدول رقم 1-4 لتوزيع هذه الأحمال فيما بينها .**

## 2- محطات الصرف الصحي

**تمثل أحمال الصرف الصحي أحمال الطاقة الكهربائية اللازمة لشبكة الصرف الصحي وتتضخم هذه الأحمال في المدن الكبرى وتصل إلي ذروة الأحمال في العواصم الكبرى المزدحمة بالسكان وتتلاشى أو تنخفض بشدة في المناطق النائية غير الآهلة بالسكان وهي تأخذ أشكالا شبه ثابتة يوميا حيث التغير اليومي بشكله المعتاد والمتوقع .**

## 3 - محطات الإرسال الإعلامي

**مع التطور السريع في قطاع الإعلام تنتشر محطات الإرسال الإذاعي والتليفزيوني في كافة الأرجاء وتتواجد علي الساحة الهندسية مما يجل من الضرورة دخولها عند حساب الأحمال في منطقة ما مدينة أم قرية .**

## 4 - محطات رفع الغاز الطبيعي

مع ظهور الغاز الطبيعي واكتشافه في العديد من المواقع وحيث أنه من الوقود الصديق للبيئة تقبل الدولة علي تحويل كافة الاستخدامات نحو الغاز وقد بدأت في تنفيذ العديد من شبكا ت الغاز في كثير من المدن ودخلت في الاعتبار هذه المحطات اللازمة لرفع ضغط الغاز ونقله وتخزينه والسهر علي وقاية الأفراد والمعدات ضد الأخطار وهو ما يحتاج إلي استهلاك بعضا من الطاقة الكهربائية وإن كانت قليلة نسبة غلي غيرها من نوعيات الاستهلاك القياسية داخل قطاع الخدمات .

## 5 - إنارة الشوارع

تعتبر إنارة الطرق العامة داخل المدن والشوارع الرئيسية والفرعية أساسا للرقي والتمدين وهو من الموضوعات التي تعتم بها الدولة فأحمالها الكهربائية محددة وتظهر ليلا فقط .

جدول رقم 1- 5 : الأحمال القياسية المئوية (الحالة الخامسة)

| الساعة | مياه | كهرباء | صرف | إرسال | شوارع | فنادق | مدارس | مستشفي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 8 | 3 | 2 | 1 | 10 | 8 | 0.9 | 2 |
| 2 | 4 | 3 | 2 | 0.5 | 10 | 8 | 0.9 | 2 |
| 4 | 4 | 3 | 2 | 0.1 | 10 | 10 | 0.9 | 2 |
| 6 | 20 | 2 | 2 | 0.1 | | 10 | 0.9 | 6 |
| 8 | 20 | 4 | 10 | 0.7 | | 10 | 2.7 | 16 |
| 10 | 14 | 6 | 2 | 0.7 | | 2 | 9 | 16 |
| 12 | 10 | 6 | 2 | 0.8 | | 20 | 9 | 16 |
| 2 | 14 | 6 | 10 | 0.9 | | 2 | 9 | 16 |
| 4 | 16 | 5 | 10 | 0.9 | | 8 | | 20 |
| 6 | 12 | 10 | 2 | 1 | 10 | 10 | 0.9 | 20 |
| 8 | 12 | 10 | 2 | 1 | 10 | 6 | 0.9 | 14 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 1 | 10 | 18 | 0.9 | 6 |

## 6 - مترو الأنفاق والسكك الحديدية

ظهرت بالقاهرة الكبرى الأنفاق الكبرى تحت الأرضية ومترو الأنفاق إضافة إلي مترو حلوان الذي يعتمد علي الكهرباء مما جعل لها من الأحمال ما يجب أن يدخل في الحسبان عند القيام بتصميم أو تخطيط لأعمال الكهرباء في هذه المدن ، وهذه الأحمال تختفي في المدن العادية والقرى كما في الجدول رقم 1-5 ( الحالة الخامسة ) .

## 7 - أحمال فندقية

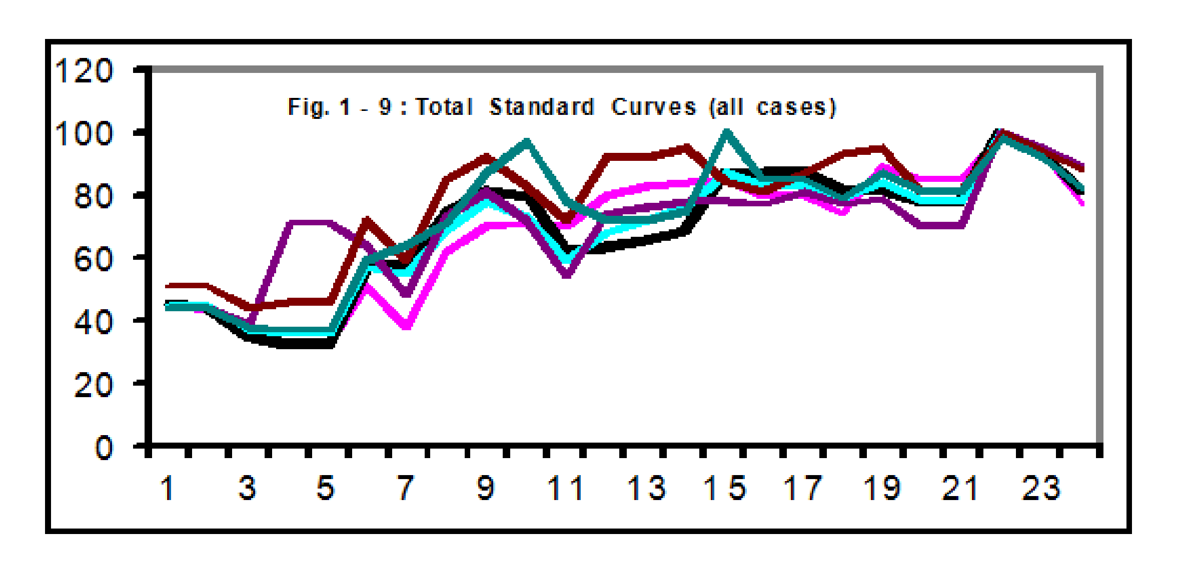
تنتهج الدولة أسلوبا فريدا لزيادة الدخل القومي من خلال انتعاش المستوي السياحي ورفع كفاءة الخدمات لهذا القطاع فنجد الفنادق الراقية حيث تظهر بالمناطق السياحية أو المدن الساحلية والعواصم ونرى الخالة السادسة عندما تختفي أحمال الفنادق كما في القرى والمدن البعيدة .

جدول رقم 1- 6 : النسبة المئوية لمكونات الأحمال القياسية داخل الأحمال الإدارية

| الحالة | أبنية حكومية | أعمال إدارية | شبكات معلومات |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 30 | 20 |
| 2 | 70 | 25 | 5 |
| 3 | 90 | 5 | 5 |
| 4 | 80 | 15 | 5 |
| 5 | 70 | 20 | 10 |
| 6 | 70 | 10 | 20 |

## 8 - أحمال مدرسية ومستشفيات

تشمل أيضا أحمال الخدمات كلا من الأحمال الخاصة بالتعليم والعلاج وهي ما تقوم به الدولة لرعاية أبنائها ولا يجب أن ننسي مجهودات الدولة في بناء المدارس والمستشفيات علي أحدث النظم العالمية ونري الأحمال الكهربية لكلا الفرعين داخل قطاع الخدمات بالرغم من أنه يتضمن العديد من الخدمات الأخرى .كما أنه من النتائج السابقة نستطيع الحصول علي إجمالي الأحمال القياسية للحالات الست ( الشكل رقم 1 – 9 ) .




## خامسا: الأحمال الإدارية Administrative Loads

نظرا لما تم من ميكنة وآلية في العمل الإداري أصبح هذا النوع من العمل يعتمد إلي حد كبير علي الأجهزة الكهربائية مثل الكمبيوتر والكاتبات العربية والإنجليزية إضافة إلي وضع المراجعات واتخاذ القرار والتعامل بين المكاتب من خلال الشبكات المعلوماتية مما أدي إلي الاعتماد الكلي أحيانا علي الأجهزة والأدوات الكهربائية وبذلك تغير شكل الأحمال الكهربائية وزادت في تأثيرها ووصلت الي تلك المتغيرات .

كما نجد التنوع في أشكال الأحمال الإدارية والتي تأخذ المجالات التالية:

جدول رقم 1- 7 : الأحمال القياسية داخل الأحمال الإدارية (الحالة الثالثة والرابعة)

| الحالة | الثالثة | | | | الرابعة | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الساعة | أبنية | أعمال | معلومات | إجمالي | أبنية | أعمال | معلومات | إجمالي |
| 12 | 27 | 0.5 | 0.5 | 28 | 24 | 1.5 | 0.5 | 26 |
| 2 | 27 | 0.5 | 0.5 | 28 | 24 | 1.5 | 0.5 | 26 |
| 4 | 27 | 0.5 | 0.5 | 28 | 24 | 1.5 | 0.5 | 26 |
| 6 | 27 | 0.5 | 0.5 | 38 | 24 | 1.5 | 0.5 | 26 |
| 8 | 90 | 5 | 3.5 | 98.5 | 80 | 15 | 3.5 | 98.5 |
| 10 | 90 | 5 | 5 | 100 | 80 | 15 | 5 | 100 |
| 12 | 90 | 5 | 5 | 100 | 80 | 15 | 5 | 100 |
| 2 | 90 | 5 | 5 | 100 | 80 | 15 | 5 | 100 |
| 4 | 18 | 2 | 1 | 21 | 16 | 6 | 1 | 23 |
| 6 | 18 | 2 | 1 | 21 | 16 | 6 | 1 | 23 |
| 8 | 27 | 2 | 1 | 30 | 24 | 6 | 1 | 31 |
| 10 | 27 | 2 | 1 | 30 | 24 | 6 | 1 | 31 |

## 1 - الأبنية الحكومية

تمثل الأبنية الحكومية الموقع الهام داخل الإطار الكهربائي استخداما فمنها الأبنية الضخمة مثل مجمع التحرير في القاهرة أو مواقع الأحياء أو المحافظات والمديريات المتنوعة وكلها تأخذ الشكل المحدد بينما تتواجد هذه الأحمال بدرجات متفاوتة من مكان لآخر كما تراها في الحالات الست الواردة في الجدول 1-6 والذي يظهر فيه التواجد المستمر لكافة الأنواع في كل الحالات .

## 2 - الأعمال الإدارية

تدخل في الاعتبار كل الاستخدامات الكهربائية لأداء العمل المنوط وهو ما نعتبره جوهريا في العمل ويشمل تلك الأحمال وقد ترتفع هذه القراءات مع التطور القادم في العالم

## 3 - شبكات المعلومات

ظهرت شبكات ا لمعلومات وما يشملها من نظام البريد الإلكتروني والإنترنت وما قد يظهر منها مستقبلا كأحدث وأفضل وذلك ساعد علي زيادة الأحمال الكهربية باستخدام شبكات المعلومات .

مما سبق وبتكرار الأسلوب فنصل إلي القراءات الواردة بالجدول 1-7 للحالتين الثالثة والرابعة .

وجدير بالذكر أننا سوف نتطرق لحساب الطاقة من قراءات الأحمال للقدرة وهي ما تعني المساحة تحت منحني الأحمال وحتى تكون الدقة في الحسابات واضحة الرؤية حيث تكون الطاقة هي:

**الطاقة الكلية = القدرة عند كل قراءة × فترة القراءة (1-1)**

في الحالة الثالثة تتحول المنحنيات بين القراءات إلي خطوط مستقيمة مما يجعلها شبه منحرف الشكل والذي يتم في فترات زمنية ساعة كاملة فتكون 24 قراءة ويمكن حسابه بدقة بالمعادلة

$$\text{Energy} = \Sigma \{ ( P_i + P_{(i+1)} ) / 2 \} \times 1\,H \quad , \quad i = 1,24 \qquad (1\text{-}2)$$

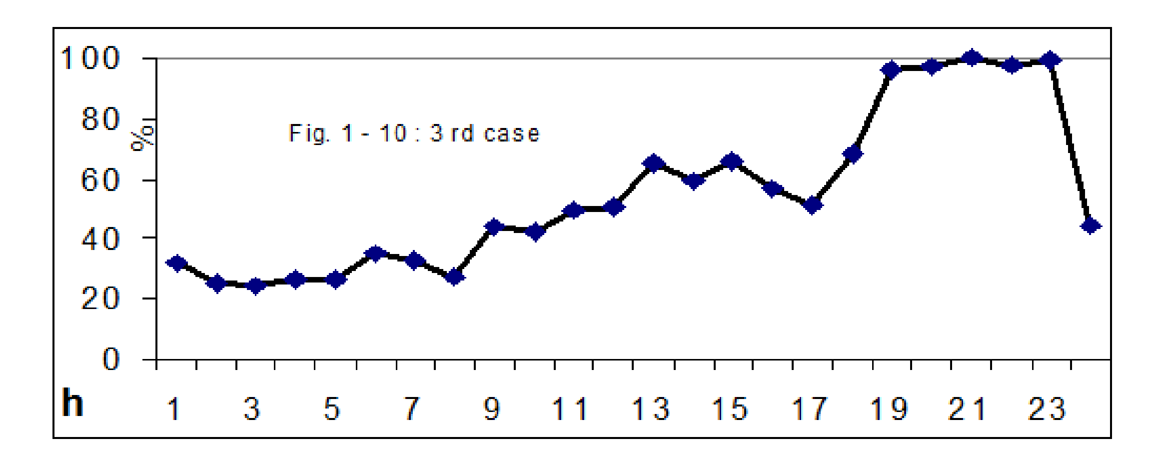
## 2-1 : المعاملات الفنية Technical parameters

مما سبق يبين لنا أنه من الضروري الإلمام بمنحنيات الأحمال وفهمها جوهريا لوضع التوقعات السليمة المستقبلية التي سوف تظهر دون إنحراف يذكر عن الواقع كما أنه لا بد من وضع التنسيق الهندسي عند التخطيط علي أن يكون متواكبا مع كلا من التخطيط قصير و طويل المدى وهو ما يضع أمامنا أسلوب التجزئة بين الأجزاء المختلفة داخل المدينة ولذلك يجب أن يتم تقسيم المدينة إلي مناطق متساوية في القدرة المستهلكة للأسباب التالية :

1 - وضع محولات توزيع بذات القدرة لكل منطقة مما يقلل من التكلفة الكلية لإنشاء المدينة وكذلك تعطي الفرصة لوضع محول احتياطي يكفي أي موقع دون الدخول في التعدد من هذه المحولات الإحتياطية .
2 - استخدام تصميم واحد لكل مواقع محطات التوزيع الداخلي بالمدينة .
3 - توحيد لوحات التوزيع بمواصفة واحدة (سعة ومداخل ومخارج )
4 - توحيدالقواطع الكهربية المستخدمة علي مستوى المدينة .

ولهذا يجب أن تكون القدرة لكل قطاع متساوية بصرف النظر عن شكل المنحنى الخاص بالأحمال ولكنه لا بد وأن يتواكب مع أقصى منحني أحمال لكل المناطق بلا إستثناء .

الأحمال هي الكميات الكهربية اللازمة للمستهلك أو هي في الحقيقة تلك الكميات التي يحصل عليها المستهلك من الشبكة الكهربية وهي الطاقة التي يحتاجها الفرد وتتجمع هذه الأحمال معا في صورة مباشرة والتي ترسم دائما في شكل منحني متغير الطابع وهذه الأحمال يمكن ردها في حقيقة الأمر إلي تلك الأجمال القياسية التي وردت عاليه وهي بذلك تظهر المنطق العكسي للمفهوم والذي يوضح العلاقة بين منحني الأحمال وتلك الأحمال القياسية التي سبق التعامل معها ، وهذا هو ما يتطلب منا المزيد من الدراسة والتوضيح لمعني الأحمال القياسية بشكل عام وحتى نصل إلي المفهوم التصميمي والتخطيطي لأهمية الأحمال الكهربائية وهو ما نود وضعه في صورة مرجعية غير مسبوقة وباللغة العربية لمصلحة المهندس المصري والعربي ، بهذا نفصل في الفقرات التالية النقاط الرئيسية لبحث المفهوم العام للأحمال الكلية والفعلية الكهربائية . ونستطيع التعرف من المنحنيات الكلية للحالات المعطاة عاليه علي القيمة القصوى للحمل 100 % بينما نري القيمة الدنيا أصبحت 48.12 وهي التي تحدث في الساعة الثالثة صباحا ( الشكل رقم 1—10 ) وهو من الأمور المعتادة حيث يكون الحمل الأقصى مساءا وهنا في تمام الساعة الثالثة عصرا نتيجة التزايد الكبير في الحمل الصناعي داخل بقية الأحمال القياسية كما نوهنا إليه من قبل لكون الأحمال الصناعية هي الطاغية لانخفاض تواجد الأحمال الأخرى .




عندما تختفي الأحمال الإدارية وتنخفض الأحمال الصناعية وتصل إلي 20 % فقط بينما ترتفع الأحمال الزراعية إلي 50 % وهي نسبة مرتفعة ولكنها تمثل مناطق استصلاح الأراضي الكبرى والمجتمعات الخاصة بها ولذلك نجد هذا الشكل مختلفا عن السالفة فهنا تصل الذروة في الساعة التاسعة مساءا وهو من الأمور العادية تماما وتظهر القيمة الدنيا للحمل وهي 24.17 % في الساعة الثالثة صباحا وهو أيضا معتادا .

وعندما تختفي الأحمال الزراعية وتتفاقم الأحمال التجارية مثل المناطق الحرة والمدن التجارية الحرة كمدينة بور سعيد وتصل نسبتها إلي 50 % من إجمالي الأحمال فنجد الذروة في الساعة الثامنة ليلا وهو معتاد والقيمة الأدنى وهي 54.82 تحدث في الساعة الثانية صباحا وهو معتادا أيضا . غير أن الشكل الأخير يزيد من الأحمال المنزلية بنسبة 40 % بينما تتوزع بقية الأحمال وهو ما يعبر عن المناطق المزدحمة بالسكان والتي غالبا ما تكون الأحياء الشعبية. في هذه الحالة الممثلة للأحياء الشعبية نجد الأحمال قد وصلت الذروة في تمام الساعة الثامنة ليلا بينما أدني قيمة وهي 64.76 % تأتي في الرابعة صباحا ( فجرا ) وهو أمرا طبيعيا ويتماشى مع الواقع فعلا ، وهذا يثبت بأن هذه الأحمال المقترحة تعبر عن الواقع ويمكن الاعتماد الكامل عليها عند التخطيط والتصميم وتؤدي إلي نتائج سليمة نستطيع الأخذ بها . التوصل إلي الأشكال السابقة لمنحني الأحمال يكون ضروريا التعرف علي أسس ومعايير المقارنة بينهم للمفاضلة واختيار الأفضل عند التصميم أو التخطيط كما سبق الإشارة ومن هنا بدأت الأهمية لما نضعه من معاملات جوهرية لقياس المزايا والعيوب في منحني الأحمال ومن أجل تحديد الخصائص الفنية الكاملة عن هذه المنحنيات وهو ما نبسط له الصفحات التالية .

## أولا : معامل التحميل Load Factor

يعبر هذا المعامل عن نسبة التحميل ولهذا يجب البدء من التعريف الأصلي للتحميل في :

1 - الحمل الأقصى peak load : وهو يساوي القيمة القصوى للحمل علي منحني الأحمال وبذلك تصبح قيمته 100 % في المنحنيات السابقة محل الدراسة بينما نجدها لا تحدث بصفة مستمرة طوال الوقت بل في فترة قصيرة وتتباين هذه القيمة من مكان لآخر وبين الأشكال الأربعة الكلية .

2 - الطاقة الكلية **total energy** : تمثل هذه الطاقة المساحة الكلية تحت منحني الحمل رياضيا وتعبر عن إجمالي الطاقة المطلوبة علي مدار الأربعة وعشرين ساعة

3 - الحمل المتوسط **average load** : يساوي القيمة المكافئة للحمل إذا ما استمر ثابتا في القيمة علي مدار اليوم ويعبر عنه رياضيا بالمعادلة :

**القيمة المتوسطة = المساحة الكلية تحت منحني الأحمال اليومية / 24 (3-1)**

حيث تعبر ساعات اليوم الواحد علي عدالة التوزيع للحمل وهو ما تم حسابه من قبل في الجداول التي تخص الحالات الستة في الفصل الأول والأشكال الأربعة في الحالي حيث كان يتم الجمع الحسابي للأحمال المتتالية بفرض أنها تشكل مستطيلا لكل ساعة بينما في الواقع تأخذ شكل الشبه منحرف وإذا تم تجميع كل أشباه المنحرف لتوصلنا لنفس النتيجة بدقة كاملة .

4- فرق التذبذب **oscillation difference** وهي قيمة جديدة يجب أن تدخل وبقوة في الحسبان بل ويجب أن تندرج تحت مسمي المعاملات الفنية لأنها لا تقل أهمية عن غيرها وهي قيمة التذبذب في التحميل أو فرق التذبذب وهو ما يتبع الصيغة

**فرق التذبذب = القيمة القصوى – أدني حمل (4-1)**

فهي ثمل معامل الخطورة علي التشغيل لبدء وحدات التوليد ومن ثم إيقافها أو وضعها علي أهبة الاستعداد وهي من الأعمال الخطيرة من الناحية الفنية لتشغيل المحطات ويقع العبء الأكبر علي هذه المحطات كلما كان الفرق كبيرا ويعتمد العمل في مراكز التحكم الرئيسية علي هذا الفارق وكلما قل الفارق كلما أصبح العمل مريحا . اعتمادا علي هذه التعاريف الهامة نستطيع وضع التعبير الرياضي لمعامل التحميل بالصورة:

**معامل التحميل = القيمة المتوسطة للحمل / القيمة القصوى (5-1)**

**كما يمكننا تحويل هذه المعادلة إلي صورة عامة أخري إذا تم الصرب بالقيمة الزمنية لمنحني الأحمال في كلا من البسط والمقام فتصبح :**

**معامل التحميل = القيمة المتوسطة × الزمن / (القيمة القصوى × الفترة الزمنية) (6-1)**

ولذلك نجد هذه القراءات لحالات حملية كما وردت عاليه الجدول1 – 8 حيث تم تضمين الجدول القيمة المحسوبة لمعاملات التحميل الأربعة وهي التي لابد وأن تقل عن القيمة الوحدة (أقل من الواحد الصحيح) وهو الاستنتاج الواضح من المعادلات الرياضية المختلفة المحددة لقيمته.

**جدول رقم 1 - 8 : اختيار الحالات السابقة لنوعية الأحمال القياسية**

| الشكل | الأول | الثاني | الثالث | الرابع |
|---|---|---|---|---|
| الطاقة الإجمالية | 1825.64 | 1706.36 | 1315.71 | 1554.42 |
| القيمة القصوى | 100 | 100 | 100 | 100 |
| زمن الذروة | 3 عصرا | 9 صباحا | 8 ليلا | 8 ليلا |
| القيمة المتوسطة | 76.06 | 71.1 | 54.82 | 64.76 |
| القيمة الأدنى | 48.12 | 24.17 | 14.05 | 41.71 |
| زمن أدنى حمل | 3 صباحا | 3 صباحا | 2 صباحا | 4 صباحا |
| فرق التذبذب | 51.88 | 75.83 | 75.95 | 58.29 |
| معامل التحميل | 76.06 | 71.1 | 54.82 | 64.76 |

جدير بنا أن نجدول قيمة معامل التحميل للحالات الستة الواردة عاليه ، حيث يظهر لنا الفارق بين الحالات المختلفة حيث جاءت قسمة الطاقة الإجمالية علي المدة الزمنية بعدد الساعات فتعطي القيمة المتوسطة نسبة إلي الحمل الأقصى 100 % ( جدول رقم 1 – 9 ) .

جدول رقم 1-9: معامل التحميل للأحمال النوعية للحالات الستة القياسية السابقة

| الحمل | الحالة الأولي | الحالة الثانية | الحالة الثالثة | الرابعة | الخامسة | السادسة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| صناعية | 0.5897 | 0.742 | 0.7466 | 0.8004 | 0.7833 | 0.7281 |
| زراعية | 0.5233 | 0.541 | 0.5454 | 0.5579 | 0.4983 | 0.5095 |
| تجارية | 0.415 | 0.4133 | 0.362 | 0.3745 | 0.4095 | 0.3825 |
| منزلية | 0.534 | 0.566 | 0.6682 | 0.5302 | 0.5167 | 0.5787 |
| خدمات | 0.6875 | 0.6911 | 0.6896 | 0.7125 | 0.7592 | 0.7275 |
| إدارية | 0.4758 | 0.486 | 0.4843 | 0.4852 | 0.4779 | 0.4741 |

**كما نري فرق التذبذب في الجدول 1-10 بين لنا أهميته وضرورة الاعتماد علية كمعامل جوهري .**

جدول رقم 1-10: فرق التذبذب للأحمال القياسية النوعية للحالات الستة السابقة

| الحمل | الحالة الأولي | الحالة الثانية | الحالة الثالثة | الرابعة | الخامسة | السادسة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| صناعية | 41.7 | 46 | 48 | 39.8 | 44.8 | 52.6 |
| زراعية | 88 | 88 | 86 | 86 | 86 | 84 |
| تجارية | 91 | 87 | 95 | 94 | 91 | 93 |
| منزلية | 74 | 77.6 | 73.5 | 82 | 80 | 79.5 |
| خدمات | 66.8 | 67.1 | 64.4 | 61.1 | 55.9 | 63 |
| إدارية | 80 | 76 | 79 | 77 | 76 | 78 |

هذه الأرقام تعني الكثير حيث يظهر التذبذب الأوسع والذي يصل إلي 95 نسبة إلي الذروة 100 في الأحمال التجارية والتي تأخذ بشكل عام اكبر تذبذب بين بقية الأحمال يليها الأحمال الزراعية ( 84 – 88 ) ثم الإدارية ( 77 – 80 ) فالأحمال المنزلية وحتى أفضل (أقل) تذبذب مع الأحمال الصناعية والذي يتأرجح حول النصف ( 41 – 52 تقريبا ) . وكلما قلت قيمة التذبذب كلما كان التشغيل مستمرا لفترات أطول لوحدات التوليد مما يعطي الاطمئنان للعاملين والقائمين علي الإشراف في مراكز التحكم ومحطات التوليد .

## ثانيا : معامل الاستغلال Use Factor

يعبر هذا عن الطاقة المهدرة من تلك المتاحة بالشبكة ولذلك يتم وضعه في الصيغة :

**معامل الاستغلال = الطاقة المستخدمة فعلا / الطاقة المتاحة (7-1)**

وذلك يوضح لنا أهمية أن تزيد قيمته ويكون وهو شكلا آخر من معامل التحميل ويعبر البسط عن شكل مستطيل بطول الفترة الزمنية وعرض ( ارتفاع ) قيمته القيمة المتوسطة وهي مساحة مستطيل تساوي الطاقة المستهلكة فعلا بينما المقام يمثل مستطيلا بطول نفس الفترة الزمنية للمنحني وعرض ( الارتفاع ) الحمل المركب installed capacity معبرا عن مساحة مستطيل قيمتها الطاقة الكلية المتاحة أي يتم قسمة مساحة مستطيلين ، كما أنه يجوز التعبير عن نفس المعامل علي النحو التالي :

جدول رقم 1-11: معامل الاستغلال للأحمال القياسية النوعية للحالات الستة السابقة

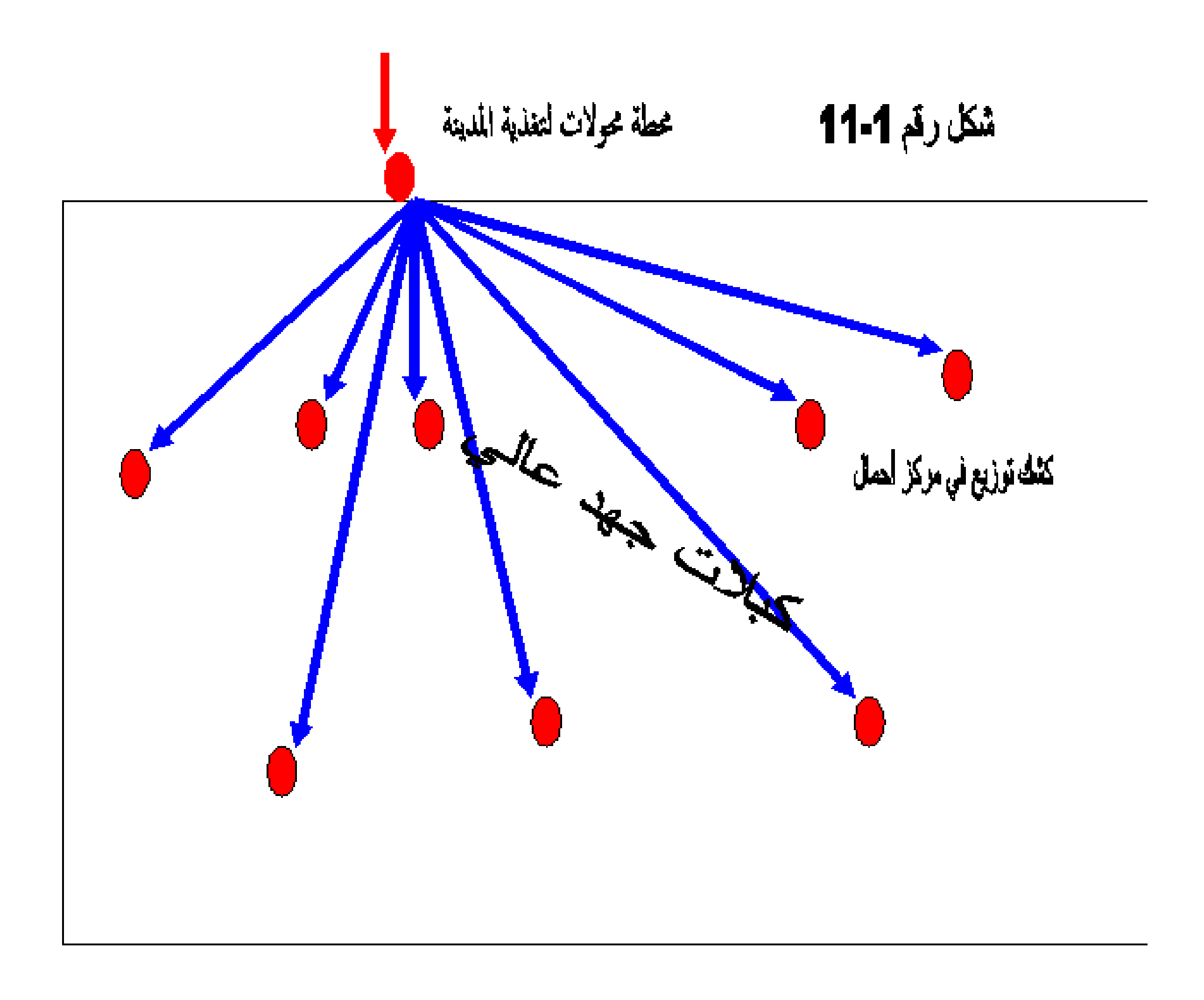
| الحمل | الحالة الأولي | الحالة الثانية | الحالة الثالثة | الرابعة | الخامسة | السادسة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| صناعية | 0.4914 | 0.6183 | 0.3971 | 0.667 | 0.6527 | 0.6067 |
| زراعية | 0.436 | 0.4508 | 0.4545 | 0.4649 | 0.4152 | 0.4245 |
| تجارية | 0.3458 | 0.3444 | 0.3016 | 0.312 | 0.3412 | 0.3187 |
| منزلية | 0.445 | 0.4716 | 0.5568 | 0.4418 | 0.4305 | 0.4822 |
| خدمات | 0.5729 | 0.5759 | 0.5746 | 0.5937 | 0.6326 | 0.6062 |
| إدارية | 0.3965 | 0.405 | 0.4035 | 0.4043 | 0.3982 | 0.395 |

معامل الاستغلال = المساحة تحت منحى الحمل / الطاقة المتاحة الكلية (8-1)

هكذا نجد لزاما علينا تعريف الحمل المركب installed capacity وهو أقصي يمكن لمحطات التوليد أن تبثه إلي الشبكة الكهربية والطاقة المركبة هي عادة أكبر من الحمل الأقصى وغالبا ما تكون في حدود 120 % من الحمل الأقصى ولهذا سوف نفترض في هذا الكتاب أن قيمة الحمل المتاح المركب بقيمة 120 % وهكذا يجلو لنا الفارق بين الحمل الأقصى وذلك المركب ويمكن أن نضع المعادلة رقم1-8 في الصورة

**معامل الاستغلال= معامل التحميل/ النسبة بين الحمل المركب والأقصى (9-1)**

والآن نقدم معامل الاستغلال للحالات الستة السابقة في الجدول رقم 1-11 .



إضافة إلي ما سيق نجدول قيمة معامل الاستغلال الخاص بالأشكال الأربعة الكلية للحمل كما وردت في الجدول رقم 1-12 لنري الفارق بين المعاملين التحميل والاستغلال للأشكال الأربعة .

جدول رقم 1-12: معامل التحميل ومعامل الاستغلال للأحمال القياسية الكلية السابقة

| الشكل | الأول | الثاني | الثالث | الرابع |
|---|---|---|---|---|
| معامل الاستغلال | 0.6338 | 0.5925 | 0.4568 | 0.5396 |

كما يمكننا أن نعبر عن معامل الاستغلال حسابيا بالمعادلة

**معامل الاستغلال = القيمة المتوسطة / القيمة المركبة (10-1)**

وهو ما نستطيع ملاحظته من الجداول الأخيرة حيث أنه يعتمد علي النسبة بين القيمة المركبة والتي تعتمد علي المحطة ذاتها دون النظر إلي منحني الحمل وبين الحمل الأقصى وهو ما يظهر من منحني الحمل بغض النظر عن ما هو متاح أم لا في الشبكة . ومن ذلك نري أن معامل الاستغلال يشير إلي مدى استغلال الطاقة المتاحة لدينا أو نسبة ما نستغله من كل ما يمكننا الحصول عليه .

## ثالثا : معامل القدرة Power Factor

تعتبر عملية تشغيل المولدات من أهم الموضوعات الرئيسية المؤثرة في تشغيل الشبكة الكهربائية لرفع الاعتمادية فيها مما يضع كل المعاملات المتعلقة بتشغيل المولدات علي قمة الأساسيات التي تحدد الشكل الهندسي لمستوي أداء الشبكات الكهربائية عموما ولما كانت إجراءات تشغيل المولدات وتوصيلها إلي الشبكة أو فصلها عنها تعتمد علي مستوي الأحمال العاملة فيها في تلك اللحظة مما يجعل أسلوب توزيع الأحمال في مقدمة هذه المؤثرات والتي تحتاج إلي المزيد من التحليل والبحث وصولا إلي التشغيل الأمثل . أن النظرة إلي دراسة سريان الأحمال تحتاج إلي إضافة توزيع الأحمال من خلال وضع منحنيات الأحمال داخل العملية البحثية من أجل الوصول إلي التشغيل الاقتصادي الأمثل للشبكة الكهربائية خصوصا في شبكات التوزيع .

لا يتوقف التشغيل الاقتصادي للشبكة الكهربائية علي مكوناتها فحسب تبعا للعمليات الحسابية المحددة لهذا الغرض وبالأسلوب المعتاد بل يشمل تكلفة كل المعوقات أو الملحقات والمساعدات اللازمة لأداء هذا التشغيل علي الوجه الأمثل فإذا تحدد تشغيل وحدة معينة بعينها في فترة ما فلا بد من أن تكون جاهزة للتشغيل في ذلك الوقت أو عند الاحتياج لها ، وهذا التجهيز يمر بالعديد من المراحل المتتابعة خصوصا بالنسبة للمحطات الحرارية وبالتحديد المحطات البخارية وهو الأمر الذي يحتاج إلي الوقت والمجهود والمال مما يرفع التكلفة الكلية لتشغيل الوحدة بدرجة غير مدرجة في المعادلات الرياضية المستخدمة وفي حزم البرامج الحاسوبية المتعلقة بهذا الموضوع . علي الجانب الآخر نجد المحولات الكهربائية قابعة في أماكنها تنتظر التوصيل من خلال المفاتيح CB والسكاكين Isolators الخاصة بها وهو ما يمكن أن يتم فوريا تقريبا وبالمثل خلايا الخطوط والمغذيات ولهذا تختلف طريقة دراسة تطوير وتحسين أداء الشبكات الكهربائية باختلاف الغرض من الدراسة والجزء من المنظومة التي تشمل الأجزاء الثلاثة الآتية :

1- المولدات Alternators التي تعمل مع الأحمال المطلوبة سواء كانت تلك الدائمة من الشبكات الرئيسية للتوليد أو تلك الطارئة التي تعمل في ذات الموقع الذي به الأحمال وكذلك مصادر التغذية الأخرى Power Sources .
2- شبكات النقل والتوزيع Transmission & Distribution وأجهزة الخدمة الملحقة بها
3- الأحمال المختلفة الرابضة علي أطراف الشبكة حيث تستلم الشبكة تلك الطاقة من مصادر توليدها و تسلمها للأحمال عند نقاط تواجدها وعلي ذلك فإن شبكة التوزيع تتأثر بكل من مصادر توليد القدرة (المولدات) وقضبان استهلا ك الطاقة(الأحمال) .

ففي حالة المولدات يكون الهدف هو خفض كمية القدرة الردية Reactive Power المطلوبة منها التي تناظر قدرة فعالة معينة أما في حالة الأحمال ومنها المحركات فأن الهدف يصبح خفض كمية القدرة الردية التي تطلبها تلك المحركات من مصدر التغذية ولذلك يؤدي ارتفاع معامل القدرة سواء عند المولدات أو الأحمال أو في المواقع المختلفة بالشبكة إلى تحسين أدائها منعكسا علي ثلاث نقاط جوهرية نسطرها في البنود التالية .

**من الهام تنظيم الجهد voltage regulation علي القضبان المختلفة بالشبكة بالمدينة ، خصوصا عند أحمال الاستهلاك حيث يستعان بمصادر القدرة الردية في خطوط النقل لتنظيم الجهد بصفة أساسية والتي ترفع الجهد لهبوط الجهد الذي يعتمد بدورة علي مقدار التيار أما في شبكات التوزيع الصناعية أو المدارس الصناعية والتي بها العديد من الورش فان استخدام المكثفات بهدف رفع الجهد فقط لا يمكن تبريره اقتصاديا حيث توجد طرق أخرى اقل تكلفة واسهل استعمالا لأن المكثفات في الشبكات بهدف تحسين معامل القدرة يضيف ميزة إضافية هي تحسين تنظيم جهد تلك المنظومات ويرتبط كل من معامل القدرة والتيار وتنظيم الجهد معا بحيث أن التغير في أي واحد منهم يؤثر علي الآخرين.**

**يعرف تنظيم الجهد R % بأنة التغير النسبي في جهد مصدر التغذية E المصاحب لتيار الحمل I 0 ويحدث تنظيم الجهد بسبب الهبوط في الجهد خلال المعوقة impedance ( Z ) الحاملة للتيار من مصدر التغذية إلى نقطة الحمل .**

$$R\%=\{(E-V)/V\}100 \quad , \quad E=V+I\,Z=V+I\,(R+j\,X) \qquad (1\text{-}11)$$

## 4 - خفض الفاقد في الشبكة Loss Reduction

**يمكن التوصل إلي خفض الفاقد losses بتقليل التيار وبالتالي الفاقد الذي يتناسب مع مربع قيمة التيار ومن ثم بخفض القدرة الردية المارة في الشبكة يقل تيار الشبكة وإذا اعتبرنا أن القدرة الفعالة لا تتغير كما هو الحال عادة فإن معامل القدرة يتحسن ( يرتفع ) بانخفاض قيمة القدرة الردية وعندما تصبح القدرة الردية مساوية للصفر يصبح معامل القدرة مساويا للوحدة 100% ، ويعرف معامل القدرة بالنسبة المستعملة من الطاقة الموجودة فعلا التي تنتج عن ظاهرة التفاوت بين زاويتي الجهد والتيار مما ينشأ عنه ثلاث كميات من القدرة كلا في اتجاه مخالف للآخرين ، كما تختلف الطاقة الموجودة عن تلك سابقة الذكر عالية والتي تعرف باسم المتاحة أو المركبة . ومثلث القدرة في الدوائر الكهربية يعتمد علي الزاوية بين كلا من التيار والجهد والمسماة بالزاوية ϕ وهي المؤثرة بدرجة كبيرة في كمية القدرة المستغلة والمنتفع بها من كامل القدرة المهدرة وكلما تساوت هاتين القدرتين كلما كانت الزاوية هذه مساوية للصفر وهو ما يجعلنا أن نميز هذه الزاوية الصفرية عن غيرها ويتم ذلك بأن جعلنا الزاوية صفرا تعني المميزات بينما علي النقيض إذا كانت 90 درجة تلاشت القدرة الفعلية وأهدرت القدرة بالكامل ولذلك تك وضع معامل القدرة مساويا جتا الزاوية المشار اليها لأن هذه النوعية من الدوال التي تحقق هذا المعني المراد وهو أيضا ما يظهر من خلال المعادلات المستنتجة في كافة انواع التحليلات الرياضية والهندسية ولذلك نعبر عن معامل القدرة بالصيغة الحسابية .**

**معامل القدرة = جتا الزاوية بين الجهد والتيار ( cos ϕ ) (12-1)**

**في مثلث المعوقة impedance triangle وأضلاعه هي المقاومة resistance والممانعة الظاهرية reactance ووتره المعوقة impedance ومن أسس المتجهات vectors يمكننا ضرب كل هذه المتجهات الثلاث في متجه واحد وهو متجه التيار current vector المار بهذه المعوقة فنحصل آليا علي مثلث الجهد voltage triangle فتصبح الجهد voltage علي الممانعة والجهد علي المقاومة ضلعان بينما الجهد علي المعوقة يظل وترا وبذلك يسمي بمثلث الجهد وبالضرب مرة أخري أضلاع مثلث الجهد voltage triangle في نفس التيار فنحصل علي مثلث القدرة power triangle وأطرافه تصبح القدرة الفعالة active power والقدرة الظاهرية reactive power والقدرة الكلية total power . ومن المنطق الفيزيقي لمعني معامل القدرة يمكننا صياغته بشكل آخر مثل**

**معامل القدرة = القدرة الحقيقية الفعالة المستهلكة فعلا / القدرة الكلية الممكنة =**
**= الجهد علي المقاومة المستهلة للطاقة / جهد معوقتها =**
**= مقاومة الجهاز / معوقة الجهاز (13-1)**

**لذلك يهمنا من الدرجة الأولي تحسين معامل القدرة (p. f.) لأنه يعتمد علي مكونات الشبكة ولهذا يمكننا تعديل قيمته والتحكم في نوعيته فمنه ما يسمي معامل القدرة السابق leading أو الآخر المتأخر lagging وفي جميع الأحوال فانه يؤثر بشكل مباشر في فقد الطاقة المطلوبة والمتاحة غير أن قيمته تعتمد علي نوعية المعوقة وهو ما يعني نوعية الحمل وهنا عندما نتحدث عن الأحمال القياسية ويجدول الجدول رقم 1-13 بعض القيم التقريبية لمعامل القدرة الخاص**

ببعض نوعيات الأحمال القياسية ونجدها تتأرجح بين الوحدة و 0.4 وهو ما يدعونا إلي مزيد من الدراسة للوصول إلي أفضل معامل قدرة من خلال التعامل مع منحنيات الأحمال .

جدول رقم 1-13 : بيان بمعاملات القدرة التقريبية لبعض الأحمال القياسية

| نوعية الحمل | ( p. f.) | الحمل | ( p. f.) | نوعية الحمل | ( p. f.) |
|---|---|---|---|---|---|
| مصابيح تنجستن | 1 | محركات | 0.7 | كيميائي | 0.95 |
| مصابيح فلورية | 0,6 | غسالات | 0.8-0.75 | زراعي | 0.7 |
| مصابيح فلورسنت | 0.4 | ثلاجات | 0.8-0.6 | تجاري | 0.8 |
| مصابيح فلورسنت محسنة | 0.8 | تهوية | 0.8 | إليكترونية | 0.9 |
| أجهزة طهي | 0.95 | تكييف | 0.8-0.7 | صناعة ثقيلة | 0.8-0.6 |
| محركات سريعة | 0.8 | سخانات | 1-0.9 | دفايات | 0.95 |

من هنا نستطيع التوصل إلي أفضل معامل قدرة بجمع الأحمال التي تعطي أفضل معامل قدرة للأحمال الكلية وهو ما سوف نتعرض له لاحقا في الفصول القادمة.

## رابعا : معامل الفقد Loss Factor

يعتبر معامل الفقد المرآة الناقدة لمعامل التحميل حيث يلقي النظرة علي الضائع من الطاقة بالرغم من إمكانية استخدامها ويحاول توضيح ماهية الطاقة الضائعة وبالتالي يذكرنا باستمرار بأوجه القصور من ناحية الاستغلال أي يكون ضوءا مشعا علي معامل الاستغلال ولذلك يجب الاعتماد عليه في الأسلوب الهندسي الحديث حتى نصل إلي الوسائل المثلي اللازمة للتصميم ولوضع التخطيط المستقبلي في أبهى صورة ويمكننا التعبير عنه بالمعادلة الرياضية التالية

**معامل الفقد = المساحة فوق منحني الحمل / المساحة الكلية للمستطيل كله (14-1)**

وهذا يوضح لنا معلومة أخري بأنه لا بد وأن نتبع معادلة العلاقة بين معاملي التحميل والفقد وهي

**معامل الفقد + معامل التحميل = 1 (15-1)**

وهو ما يعني أن كلا من معاملي التحميل والفقد مساويا لعدد أقل من الواحد الصحيح ولا يمكن لأحدهما أن يتساوى مع الصفر .

## خامسا : معامل الاحتياطي Reserve Factor

نحتاج إلي معامل الاحتياطي كي يذكرنا بما لدينا من مخزون ممكن توليده عند الحاجة إليه وفي الحقيقة يتواجد هذا المخزون بكثرة طوال اليوم ولكنه يقل تدريجيا كلما اقتربنا من القيمة القصوى للحمل ولذلك تكون هذه اللحظة هي الحرجة والتي يتم تقييم معامل الاحتياطي عندها .

**معامل الاحتياطي = السعة الكلية / الحمل الأقصى (16-1)**

ومن معناها نعلم الإمكانية الاحتياطية لدي الشبكة لتغطية حالات الطوارئ وخصوا وقت الذروة

## سادسا : معامل التشتت Diversity Factor

يهم المهندسين أن تقل القيمة القصوى للحمل وهو ما نتطلع إلي تحقيقه باستمرار ونجد أن معامل التشتت ما يعطي لنا الفرصة لتحقيق هذا خصوصا وانه يتعلق بتجميع الأحمال الفرعية داخل الأحمال الكلية حيث يأخذ الصورة الرياضية

**معامل التشتت= مجموع القيم القصوى للأحمال الفرعية / الحمل الأقصى الكلي (1-17)**

بذلك لابد وأن يكون أكبر من الواحد الصحيح (الجدول رقم 1-14) لقيمة معامل التشتت في الحالات الستة السابقة نسبة إلي مكونات الأحمال القياسية حيث نري القيمة الأكبر للتشتت الجيد بين القيم القصوى للأحمال القياسية الفرعية بالرغم من ان القراءات في الجدول تشير إلي العديد من المعاملات المساوية للواحد الصحيح وهو ما يعني أن جميع القيم القصوى للأحمال الداخلة في التجميع في وقت واحد دون زحزحة زمنية أما القيم الأكبر فيكون التزحزح من ناحية ونسبة المكونات من الجهة الأخرى والتي تؤثر بشكل مباشر في قرب القيمة القصوى لهذه الأحمال

جدول رقم 1-14: معامل التشتت للأحمال القياسية النوعية للحالات الستة السابقة

| الحمل | الحالة الأولي | الحالة الثانية | الحالة الثالثة | الرابعة | الخامسة | السادسة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| صناعية | 1.01 | 1 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 1.02 |
| زراعية | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| تجارية | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| منزلية | 1 | 1.12 | 1.47 | 1 | 1.25 | 1.28 |
| خدمات | 1.28 | 1.24 | 1.27 | 1.29 | 1.45 | 1.37 |
| إدارية | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

ومن هذه الأرقام نجد الواحد الصحيح في الأحمال الصناعية أحيانا والزراعية والتجارية دائما لاشتراكهم في القيمة القصوى في ذات الوقت بينما تظهر أكبر معاملات عند الأحمال المنزلية والخدمات لتنوع الطلب عليها ولذلك نضع معامل الاستغلال للأشكال الأربعة الخاصة بالأحمال الكلية القياسية في الجدول رقم 1-15 لتنوع الأحمال المختلفة طبقا لما سبق شرحه .

جدول رقم 1-15: معامل التشتت للأحمال القياسية الكلية للأشكال الأربعة

| الشكل | الأول | الثاني | الثالث | الرابع |
|---|---|---|---|---|
| معامل التشتت | 1.1786 | 1.19 | 1.12 | 1.21 |

## سابعا : زمن التحميل Load Time

يهمنا هنا فترة التحميل للحمل عند الحدود سواء كانت القصوى أو الدنيا ولذلك يجب تحديد معاملات زمن التحميل في الحالتين كما يلي :

### 1- فترة الذروة Peak Duration

هو ما تكون فيه كل المولدات والمحولات عند القيمة القصوى للتحميل وقد يكون منهم ما هو فوق المقنن بالمعدلات المسموح بها وترتفع درجة الاستعداد في مراكز التحكم الرئيسية والإقليمية وتعلن حالات الطوارئ من الناحية الفنية لتكون البدائل جاهزة عند الضرورة كما أن هذه الذروة وبقية الأحمال تعتمد علي الشكل الزمني للحمل والذي نضعه علي شكل يسمي منحني الحمل الزمني load duration curve .

### 2- معدل تحميل وحدات التوليد Rate of a Unit Loading

يأتي دور تحميل الوحدات في محطات التوليد علي رأس القائمة حيث أن كل المعدلات السابقة تمثل الأساس للتعرف علي معدل تحميل المولدات وخصوصا في الحالات الطارئة وهو ما نبحث عنه من أجل استقرار التشغيل للشبكة ككل وللمولد بصفة خاصة حيث أنه أول المكونات التي تتأثر بالحالات الطارئة.كما يمكننا التعبير عن معدل التحميل رياضيا بالمعادلة :

**معدل التحميل = مساحة الحمل الفعلية ( A ) / مساحة المستطيل الكامل**

**= مساحة الحمل الفعلية ( A )/ ( المساحة الفعلية + الجزء الضائع ( a )) (1-18)**

الجدول رقم 1 – 16 : بيانات محطات المحولات خارج المدن أو داخلها تبعا للجهد Outdoor Stations Parameters, (cm)

| Voltage (kV) | Up to 10 | 20 | 35 | 110 | 150 | 220 | 330 | 500 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Calculated minimum spacing between phases | 22 | 33 | 44 | 100 | 140 | 200 | 280 | 420 |
| Calculated minimum distance between a phase and ground | 20 | 30 | 40 | 90 | 130 | 180 | 250 | 375 |
| Practical (standard) spacing (Worst conditions) | 40 | | 100 | 140-190 | 200-300 | 250-400 | | |
| Practical (standard) spacing (natural conditions) | 40-60 | | 120-200 | 200-300 | 350-425 | 350-500 | 450-600 | 600-700 |
| Minimum distance from conductors to the wall | 95 | 105 | 115 | 165 | 205 | 255 | 325 | 450 |
| Minimum distance under conductors to transported objects | 95 | 105 | 115 | 165 | 205 | 255 | 325 | 450 |
| Minimum distance from energized conductors to the isolated parts | 95 | 105 | 115 | 165 | 205 | 255 | 325 | 450 |
| Minimum height to adjacent circuits (Above or Under) | 95 | 105 | 115 | 165 | 205 | 300 | 400 | 500 |
| Entrance to ground with sever conductors swing | 290 | 300 | 310 | 360 | 400 | 450 | 520 | 465 |
| Distance between conductors of different circuits | 220 | 230 | 240 | 290 | 330 | 380 | 450 | 575 |
| Distance between energized & non operating conductors of different circuits | 220 | 230 | 240 | 290 | 330 | 380 | 450 | 575 |
| Height from energized conductors to upper connections | 220 | 230 | 240 | 290 | 330 | 380 | 450 | 575 |
| Distance between energized conductors & Buildings | 220 | 230 | 240 | 290 | 330 | 380 | 450 | 575 |

## 3-1: توزيع الطاقة الكهربية

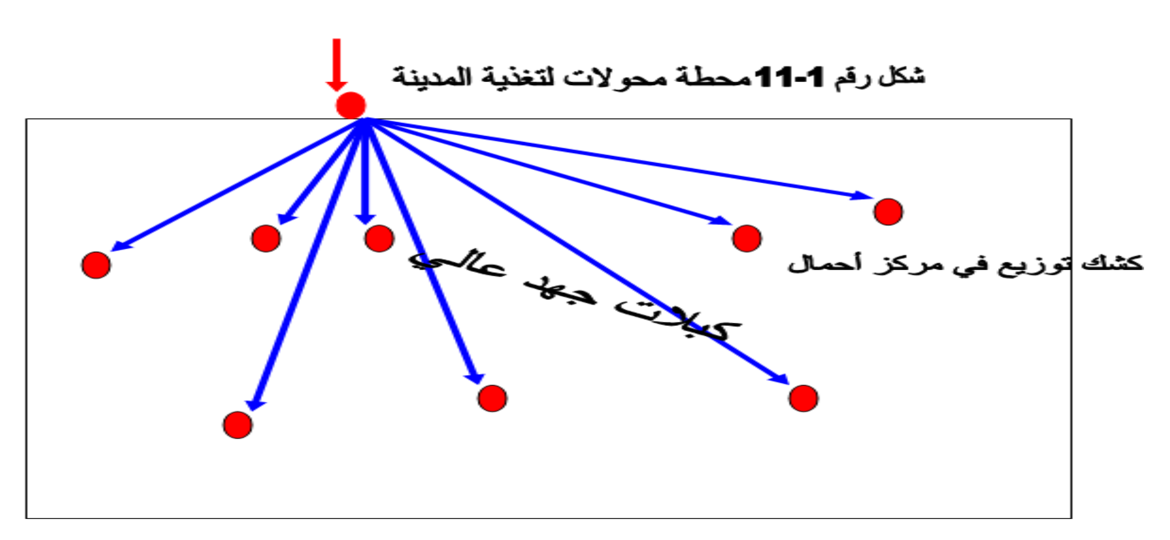
يتمتع التوزيع الكهربي في المدن بالمرونة حيث تتباين المعاملات الخاصة بالمحطات التي تقوم علي تغذية المدن كما يبين من الجدول رقم 1 – 16 والمجدول للبيانات الخاصة بمحطات المحولات بالهواء الطلق وعلي الجانب الآخر تلك المحطات الداخلية ( داخل المباني ) مثل ما ورد في الجدول رقم 1 – 17 ، وهو ما يمكن وصفه علي عدة محاور هي :

## أولا : طرق التصميم

عند توزيع الطاقة الكهربية في مدينة ما يمكننا اتباع طريقتين هما :

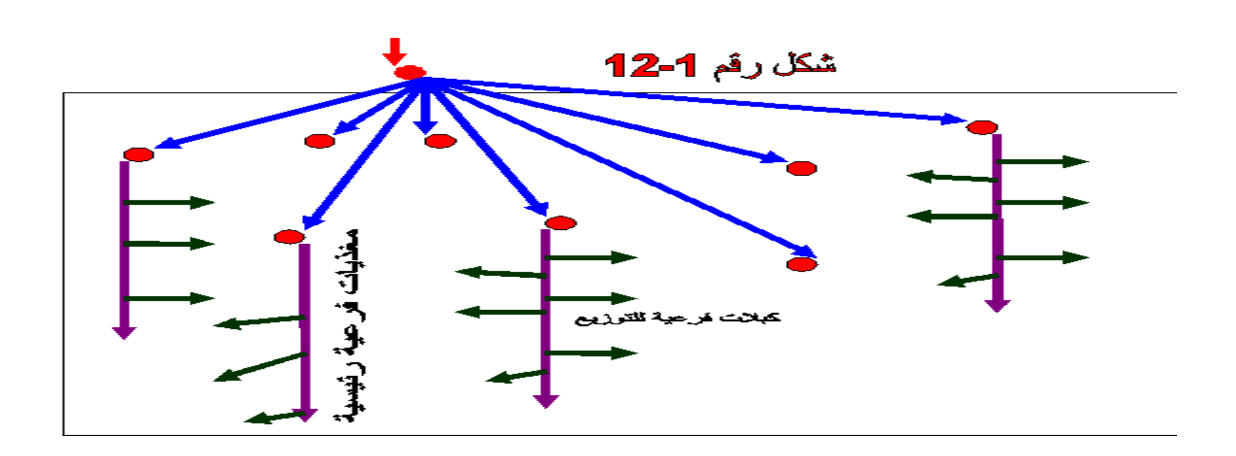
1- حساب القدرة لوحدة المساحة وفيها يتم وضع قيمة مجددة من الطاقة لكل مساحة ويتم الحساب هنا بسهولة ولكنه سوف يكون بعيدا عن الواقع وبهذا يتم التوصل إلي القيمة النهائية للمدينة كقدرة وبسهولة ، غير أنه من الممكن أن تكون القدرة لوحدة المساحة متباينة بين المناطق الصناعية عن تلك المنزلية أو بين الزاعية عن تلك التجارية وهكذا ولكنه في هذه الحالة يمكن اعطاء معامل التصميم بحيث يكون التوزيع متماثلا .

شكل رقم 1-11 محطة محولات لتغذية المدينة



**2- حساب الأحمال الكهربية للمناطق المختلفة واستكمال التصميم تبعا للتخطيط الكهربي حيث نحصل علي أقصى منحنى حمل لكل منطقة وبالتالي يتم اختيار الأقصى فيهم لبدء التصميم وتوزيع المحطات علي كافة المناطق بالتساوي ومن ثم يتم وضع محطات التوزيع للجهد المنخفض في مركز الأحمال ( ألشكل رقم 1 – 11 ) بقدر الإمكان تقليلا للفقد في الطاقة التي عادة تستمر لمدة 24 ساعة يوميا . يلي هذا توزيع هذه المحطات بالنظام المحوري علي مستوى فروع ( الشكل رقم 1 – 12 ) ويوضع أما نقاط فصل أو تفريع كهربي للكابلات ولذلك سوف نتطرق في الفصل القادم إلي هذه الكبلات من حيث التركيب والأنواع المستخدمة داخل المدن .**

**نصل الآن إلي التوزيع النهائي للقدرة الكهربية في الشوارع أو إلي المصانع أو إلي مواقع الخدمات في المدينة وكلها من خلال المغذيات بكبلات تحت أرضية إما ثلاثية الطور أو أحادية علي الجهدين 380 / 220 ف كما يلزم أن يتم التوزيع من حيث المبدأ في الكبلات أحادية الطور علي المناطق بقدر الإمكان بالتساوي علي الأوجه المختلفة من أجل الحصول علي أحمال متزنة علي الثلاث أطوار وهو النظام المثالي . بهذا المبدأ نجد أن الكبلات الكهربية من أول الأدوات اللازمة للتعامل مع التوزيع الكهربي في المدن ولهذا سوف يتطرق الفصل التالي لهذه النوعيات من الكبلات .**




**الجدول رقم 1 – 17 : بيانات محطات المحولات خارج المدن أو داخلها تبعا للجهد من الظراز الداخلي ( داخل المباني )**

**Indoor Stations Parameters, (cm)**

| *Voltage (kV)* | 3 | 6 | 10 | 20 | 35 | 110 | 150 | 220 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Calculated minimum spacing between phases* | 7 | 10 | 13 | 20 | 32 | 100 | 140 | 200 |
| *Calculated minimum distance between a phase and ground* | 6.5 | 9 | 12 | 18 | 29 | 90 | 130 | 180 |
| *Practical (standard) spacing* | 20-30 | 25-50 | 30-70 | 50-70 | 50-70 | 125-160 | 200 | 300 |
| *Minimum distance from conductors to the wall* | 9.5 | 12 | 15 | 21 | 32 | 93 | 133 | 183 |
| *Minimum distance to adjacent circuits* | 16.5 | 19 | 22 | 28 | 39 | 100 | 140 | 190 |
| *Height of non-energized parts to adjacent circuit* | 200 | 200 | 200 | 220 | 220 | 290 | 330 | 390 |
| *Height of non-energized parts to ground* | 250 | 250 | 250 | 270 | 270 | 340 | 370 | 420 |
| *Minimum Distance of entrance to ground* | 450 | 450 | 450 | 475 | 475 | 550 | 600 | 650 |

## ثانيا : نظم توزيع القدرة الكهربية

مصدر القوى الكهربية يأتي من مجطات التوليد حيث يتم نقلها برفع الجهد من خلال محطات محولات لتصل هذه القدرات إلي مشارف المدن لتغذيتها بالطاقة الكهربية حيث نجد أن الظم المتبعة في التخطيط الكهربي لشبكات المدن تعتمد علي الكثير من البيانات واجتمالات الأحمال كما سبق شرحها وتبعا لجهة التغذية وهو ما نضعه في النقاط التالية :

### 1 - نظم التغذية وحيدة المصدر Single side supply network

تلك هي النظم التي تتواكب مع المدن صغيرا كانت أو قرى وهي تعني أن مصدر التغذية يأتي من ناحية واحدة من المدين كما هو مبين في الشكل رقم 1 – 11 والشكل رقم 1 – 12 وهو ما يمكن اتباعه في المدن الصغيرة مثل المراكز والقري ويكون الأسلوب المحوري هو الوسيلة المناسبة لإستكمال التوزيع الفرعي حتي نهاية أطراف الأحمال سواء كانت صناعية أم منزلية أو غيرهما . وجدير بالذكر أن هذا النظام معيب بنسبة الاعتمادية المنخفضة مما يجعله غير ملائم للمدن الكبرى والعواصم مثل القاهرة والإسكندرية . وجدير بالذكر أن تلك المحطات لا بد وأن تنشأ خارج المدرين من الوجهة الإقتصادية ولتقليل التكلفة الكلية حصوصا وأن أبعادها المساحية ليست بسيطة كما نراها في الجدول رقم 1 – 18 .

الجدول رقم 1 – 18 : المساحات الأرضية الخاصة بمحطات المحولات من الطراز الداخلي

**Standard Dimensions of Indoor Sub Stations, m**

| *Voltage (kV)* | *Rating of Transformers MVA* | *Out going lines* | *Station Dimensions, m x m* | *Weight without transformers* |
|---|---|---|---|---|
| 110/35/6-11 | 1 x (5.6-20) | 4x(6-11) + 2x35 | 30x35 | 35 |
| 110/35/6-11 | 2 x (5.6-20) | 8x(6-11) + 4x35 | 34x57 | 35 |
| 110/6-11 | 1x(5.6-15) | 4x(6-11) | 20x27.5 | 18 |
| 110/6-11 | 2x(5.6-15) | 8x(6-11) | 27x35 | 37 |
| 35/6-11 | 1x(3.2-15) | 4x(6-11) | 12x14 | 15-20 |
| 35/6-11 | 1x(0,56-3.2) | 4x(6-11) | 12x14 | 10 |
| 35/6-11 | 2x(0,56-3.2) | 8x(6-11) | 14x20 | 14 |

### 2 – نظم التوزيع الكهربي مزدوجة التغذية Double side supply network

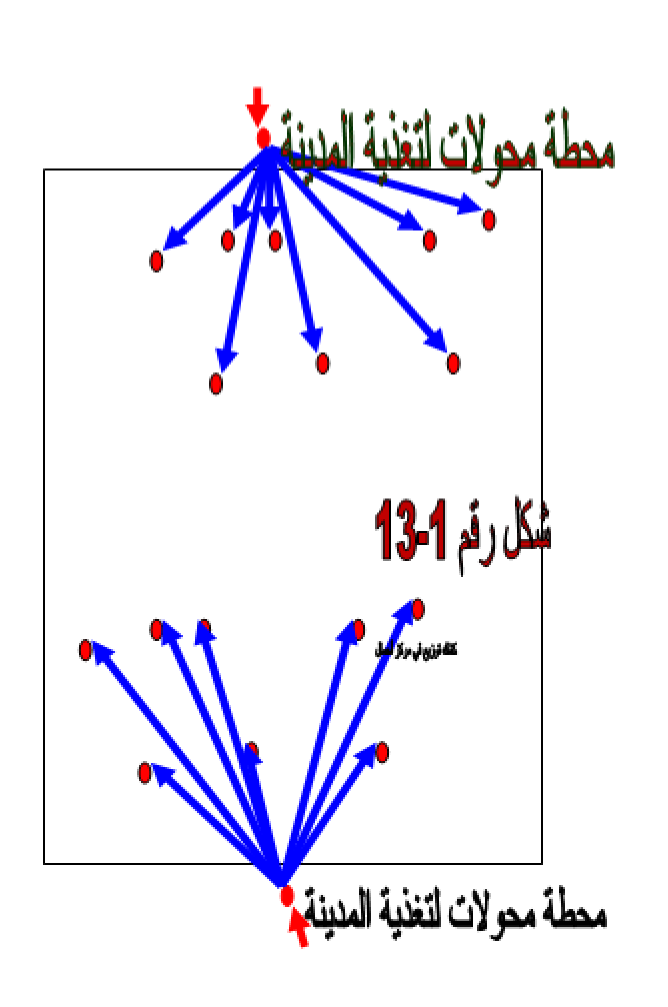
هنا تبدأ الخصائص الكهربية للتشغيل من التحسن ويكون من الهام القابلية للتعامل مع النظام الحلقي للتوزيع كي يرفع من معامل الاعتمادية ويزيد من كفاءة تشغيل الشبكة مالتمكن من تقليل الفاقد الفني من الطاقة الكهربية ، وهو ما نراه في الشكل رقم 1 – 13حيث يكون النظام مزدوج التغذية بينما يكون التوزيع الداخلي محوري ومنفصلا وهو بذلك لا يمكن أن يرفع الاعتمادية ولهذا نجد النظام الحلقي علي مستوى التوزيع المزدوج التغذية حلقي التوصيل كما هو وارد في الشكل رقم 1 – 14 . ويتاح ذلك بأن تكون التغذية المزدوجة الجهة أن تكون أيضا مزدوجة الجهد خصوصا وأن النقل الكهربي من المناطق المختلفة إلي المدينة قد يتباين فيها الجهد تبعا للمواصفات القياسية لكمية الطاقة المنقولة والمسافة المسموح بها اقتصاديا علي كل جهد ( الجدول رقم 1 – 19 ) .

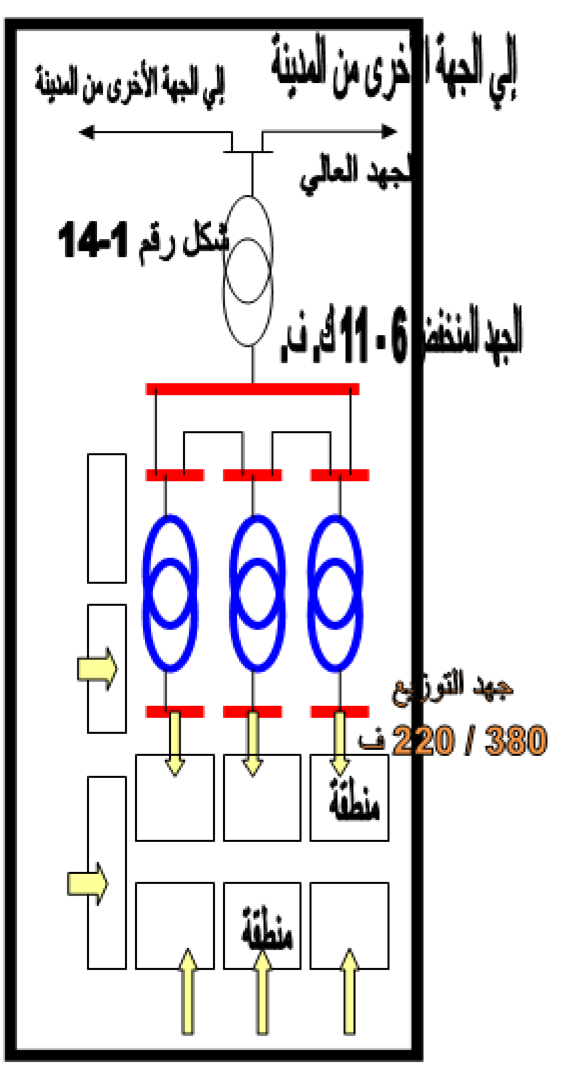
### 3 – نظم التوزيع الكهربي متعددة التغذية Multi side supply network

هي تلك النظم الأكثر ملاءمة للمدن الكبرى كما هو موضح في الشكل رقم 1 – 14 فيكون هناك نظام حلقي خول المدينة دائريا بحيث يخرج من كل جهة مجطة محولات من الجهد العالي لتعطي الجهد المنخفض من كل ناحية بحيث تزيد من نسبة الاعتمادية للتوصيل حلقيا وإعطاء الفرصة للتغذية من أي محطة خارج المدينة إلي أي موقع أو منطقة داخل المدينة .

**الجدول رقم 1 – 19 : الطاقة المنقولة تبعا للحالات القياسية المناسبة للحسابات الاقتصادية Transmitted Power**

| *Voltage, (kV)* | *Surge Impedance of 400 Ω* | *Surge Impedance of 300-315 Ω* | *Surge Impedance of 250-275 Ω* | *Max. Transmitted, MW* | *Max. Distance of Transmission, km* |
|---|---|---|---|---|---|
| 35 | - | - | - | - | 50-60 |
| 110 | 30 | - | - | 25-50 | 50-150 |
| 220 | 120 | 160 | - | 110-200 | 150-250 |
| 330 | 270 | 350 | - | 300-400 | 200-300 |
| 400 | 400 | 500 | 580 | 500-700 | 600-1000 |
| 500 | 600 | | 900 | 700-900 | 800-1200 |
| 750 | | | 2100 | 1800-2200 | 1200-2000 |

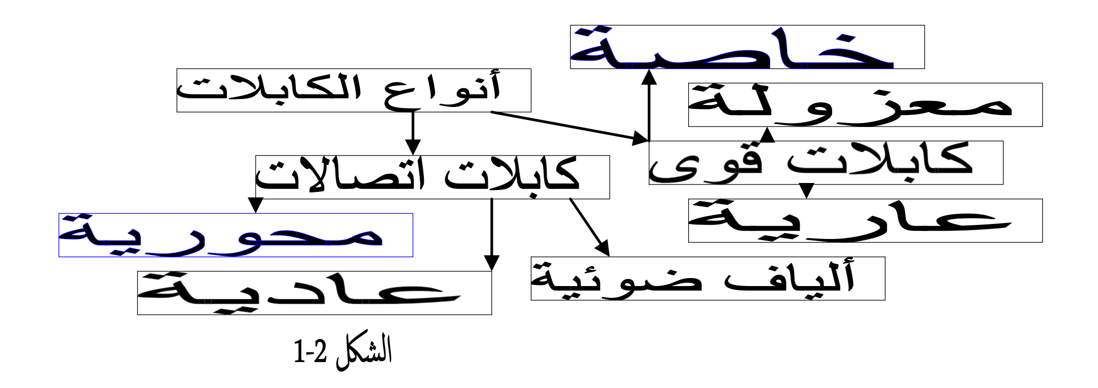


# الفصل الثاني

## الكبلات الكهربية في المدن
## Electric Cables in Cities

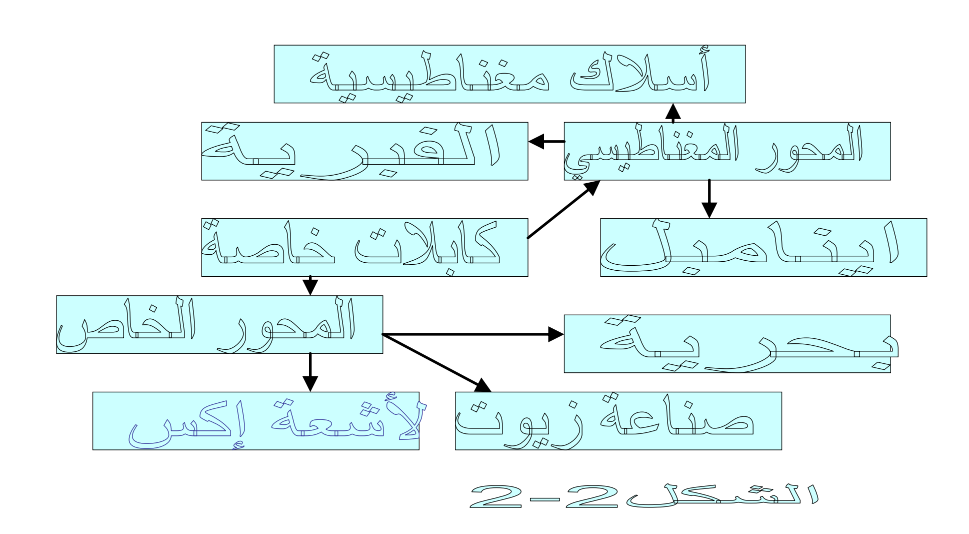
**تختلف الكبلات الكهربية عن الموصلات في احتوائها علي موصل بجانب العزل ومكونات أخري وهو ما يمكنه من العمل تحت الأرض علي عكس الموصلات التي لا تصلح إلا للخطوط الهوائية ولكنهما يشتركان في معدن الموصل في الحالتين (ألومونيوم أو نحاس) وتتنوع الكبلات كما في الشكل 2-1 وتعتبر الموصلات كأحد حالات الكبلات بدون عزل بشكل عام .**



الشكل 2-1

## 2-1: الأنواع Types

**تشمل كبلات الاتصالات كل من كبلات التليفونات والهوائيات والمعلومات والتحكم أما كبلات القوي فمنها العارية أو معزولة وتدخل فيها تلك المعزولة جافة أو بالورق المشبع بالزيت أو الزيتية أو الغازية أو بالورنيش أو كبلات خاصة (الشكل 2-2) سواء مغناطيسية أو أخرى.**



الشكل 2-2

يتم تنويع كبلات الجهد المنخفض في شبكات التوزيع ( الشكل رقم 2-3) إلي :

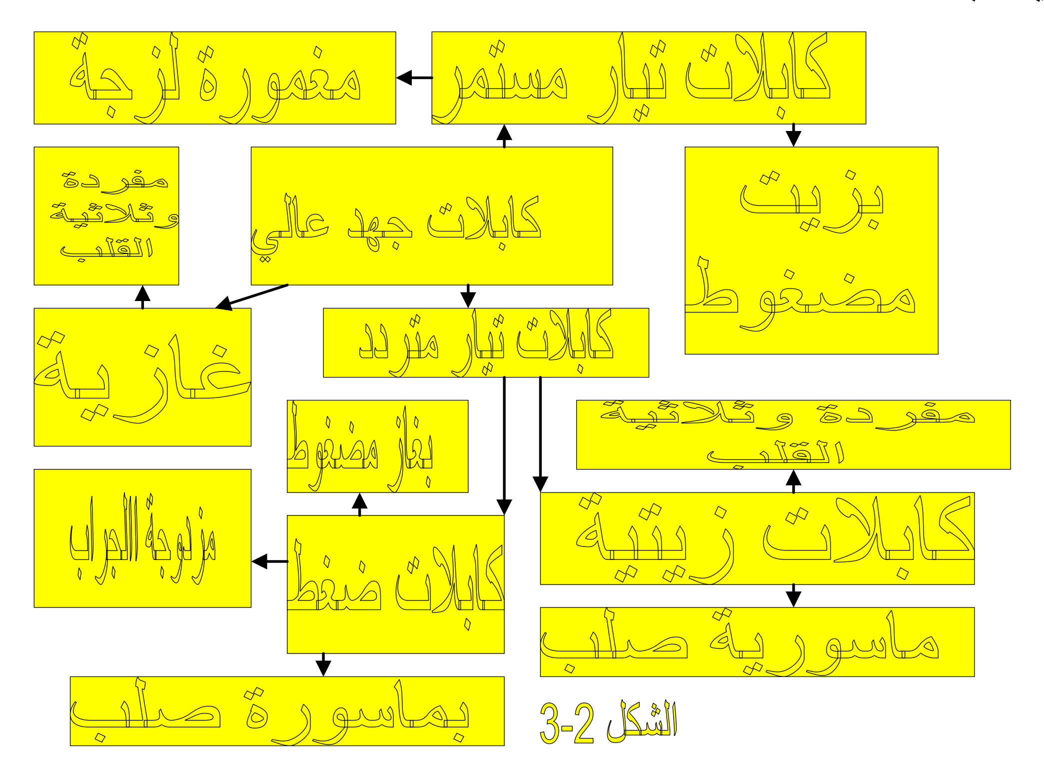
## 1- كبلات زيتية

(أ) كبلات ثلاثية القلب وتتحمل الضغط الجوي بمستوى 1 للقدرة البسيطة وحتى 15 ضغط جوي للقدرة الضخمة

(ب) كبلات وحيدة القلب وتتحمل الضغط السابق أيضا

## 2- كبلات غازية

تعمل عند ضغط 1، 3، 15جوي إضافة إلي إمكانية الاعتماد علي الجراب الرصاصي أو الألومونيوم ومنها أحادية وثلاثية القلب .



الشكل 2-3

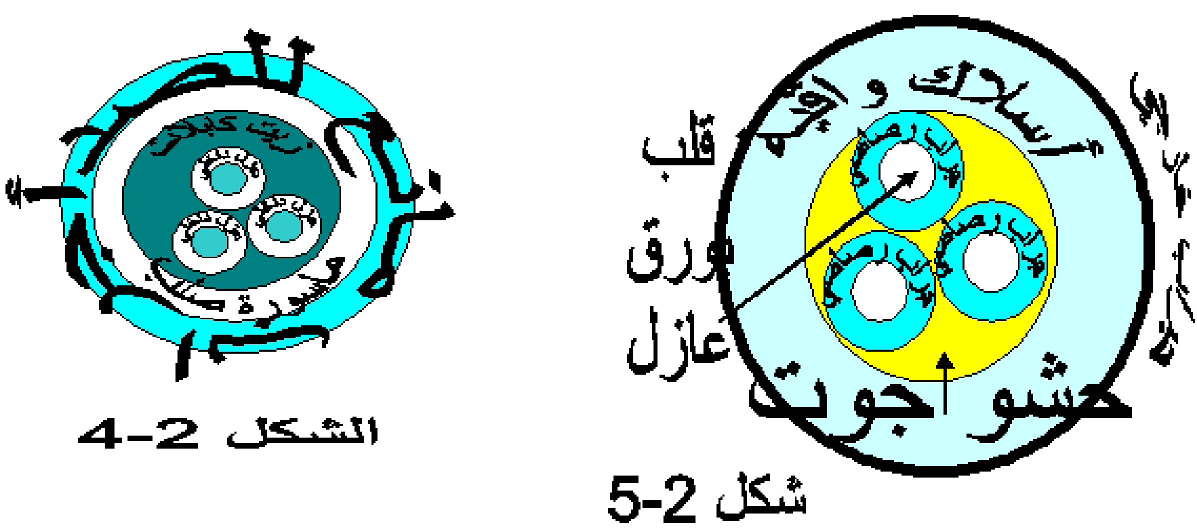
## 3- كبلات مسلحة مدعمة

بها أصناف عديدة منها الجراب الصلب أو مزدوجة الجراب أو ذو ماسورة بالغاز المضغوط ( Compressed gas with polythilin sheath) ويقدم الشكل 2-4 قطاعا بالكبل الزيتي ذو ماسورة ويندرج هنا الكبلات البحرية ( الشكل رقم 2-5 ) لتحمل الضغط المائي في الأعماق أو بالمعابر البحرية مثل قناة السويس ومضيق جبل طارق والقناة الإنجليزية وهي باهظة الثمن ولذلك نلجأ إلي الكبلات غير البحرية إذا ما تواجد جسر أو نفقي للمرور من خلاله ، ونجد كبلات الجهد المنخفض شائعة الاستخدام ولكنها تتأثر بشدة مع ارتفاع درجة الحرارة مثل كبلات PVC (الجدول 2-1)

جدول 2-1: بيان بأقل قيمة مقاومة للعزل الكهربي في الكبلات المعزولة بالبلاستيك

| جهد ك. ف. | نوع العزل | 24 ْم | 50 ْم | 60 ْم | 65 ْم |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PVC بولي اثيلين | 5 - 100 | | | 0.005 - 30 |
| 6 | PVC بولي اثيلين | 30 - 100 | | | 0.05 - 30 |
| 10 | بولي اثيلين | 100 | | 30 | |
| 35 | بولي اثيلين | 100 | 30 | | |

**يبين الجدول 2-2 المواصفات الخاصة بكبلات التوزيع المستخدمة في الكهوف والمناجم والأنفاق ( الجدول 2-2 ) وتظهر تغيرات هائلة في أنماط الكبلات لتتيح الفرصة في تنوع التامل معها أما كبلات الناقلات البترولية والبحرية 700 ف متردد أو 1 ك. ف. مستمر وتعمل عند حرارة بين + 40 ْم و – 30 ْم برطوبة نسبية تصل إلي 97 ± 3 % وموصلاتها نحاسية بعزل مطاطي 5 ميجا أوم/كم سمك (1 – 3.2 مم$^2$ ) بجراب رصاص 2 –4.5 مم$^2$ وتختبر بجهد 2.5 ك. ف. لمدة 15 ق بعزل أكبر من 100 ميجا أوم / كم علي الأقل عند20 ْم للنوع المطاطي ، أما كبلات أجهزة الأشعة أكس فلها مواصفات خاصة تمنع التسرب الإشعاعي وتعمل علي جهد 55 –110 ك. ف. بسمك عزل مطاطي (10.9 – 13.5 مم علي التوالي للجهد ) وبقطر حلقة حماية 0.25 مم مع استخدام القطن الأسود الداكن المصقول والفبر الكربوني بطبقات متتالية .**




الشكل 4-2                    شكل 5-2

**جدول رقم 2-2: المواصفات الفنية الأساسية للكبلات المستخدمة في الأنفاق والكهوف والمناجم**

| جهد (ك. ف.) | مقطع الموصل مم $^2$ | عدد موصلات القلب | عدد موصلات الأرضي |
|---|---|---|---|
| 0.5 | 70 - 1.5 | 3 – 2 | 3 – 2 – 1 |
| 0.66 | 35 - 6 | 3 | 4 |
| 0.5 ، 3 ، 6 | 70 - 6 | 3 | 1 |
| 3 ، 6 | 150 - 10 | 5 | 3 - 1 – 0 |

**كبلات الاتصالات ومنها الضوئية وتستخدم في التليفونات وهي عالية القدرة والكفاءة وتحملها عالي للضغط ومانعة للتسرب المائي ، بينما كبلات الجهد المنخفض تعمل في ظروف قاسية بمواصفات أعلي ( جدول 2-3) .**

**جدول رقم 2-3 : مواصفات سمك العزل الكهربي في كبلات جهد التوزيع**

| جهد (ف) | عزل مطاطي | عزل بلاستيك |
|---|---|---|
| 500 | 2.4– 1 | 2.4– 1 |
| 1000 | | 2 - 1.6 |

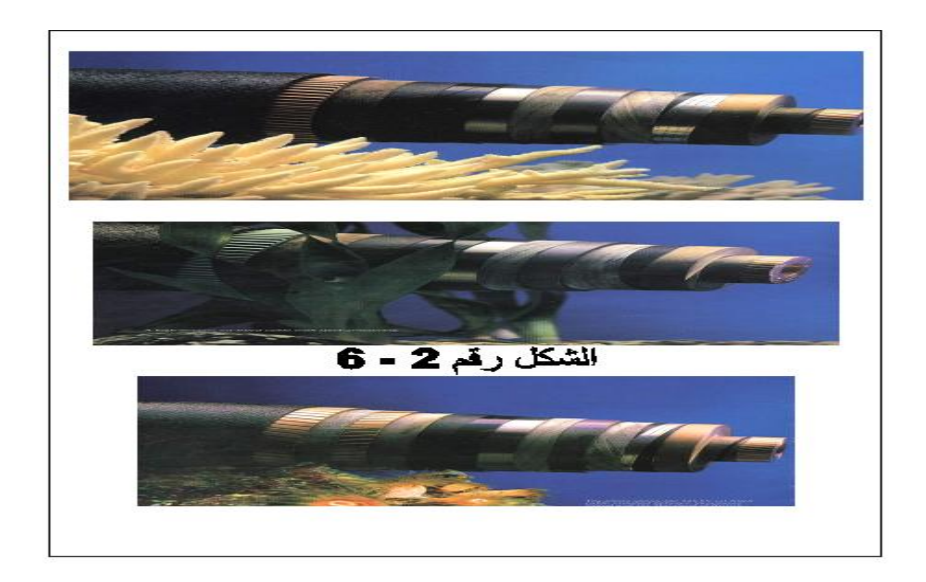
**وتظهر كبلات الاتصالات بالقدرة الضئيلة للتيار الخفيف وذبذبة استخدام محددة بمقاومة تقرب من 31.9 أوم / كم وسعة 25 نانو فاراد / كم عند 20 ْم ( الجدول 2-4) كما أن الجدول رقم 2-5 يضع الخواص الكهربي للكبلات التليفونية المقواة عديدة الأسلاك والمستخدمة بنجاح عمليا والتي تساعد في عمليات التفتيش الهندسي للوقوف علي صلاحيتها بينما هذه الصفا تتغير قليلا مع الكبلات الخزفية Enamel والفبرية Fiber ( الجدول رقم 2-6) وتتميز بصغر السمك والحجم والجودة الفائقة في التشغيل .**

**تنتشر الكبلات ( مطاطية و بلاستيكية العزل ) في شبكات التوزيع 380 / 220 ف ومنها أنواعا كثيرة ( الشكل رقم 2-6) من حيث شكل القلب أو الجراب أو العزل الداخلي سواء لكل قلب أو بين الأوجه أو مع الأرض ومنها :**

جدول رقم 2-4 : الخواص الكهربية لكبلات الاتصالات العادية عند 800 هيرتز / كم

| قطر مم | مقاومة Ω | حثية mH | سعة nF | معوقة Ω |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 184 | 0.7 | 31 | 1040 |
| 0.6 | 123 | 0.7 | 32 | 880 |
| 0.7 | 92.5 | 0.7 | 32.5 | 730 |
| 0.8 | 69.8 | 0.7 | 33 | 650 |
| 0.9 | 54.6 | 0.7 | 33.5 | 570 |
| 1 | 44.3 | 0.7 | 34 | 540 |
| 1.2 | 30.8 | 0.7 | 34.5 | 425 |
| 1.4 | 22.6 | 0.6 | 35.5 | 360 |
| 1.8 | 13.7 | 0.6 | 37 | 275 |

**1- كبلات بعزل بولي اثيلين وجراب PVC**
**2- كبلات PVC غير مقواة بدون جراب**
**3- كبلات PVC مدعمة بشرائط صلب مزدوجة بجراب أو بدونه**
**4- كبلات مطاطية (بولي كلور وبرين) ومنها نوعان ( غير مقواة وبدون جراب – مدعمة بشرائط صلب مزدوجة )**
**5- كبلات مطاطية العزل بجراب رصاص ومنها ثلاث حالات ( بدون جراب – مدعمة بشرائط صلب – مدعمة بأسلاك صلب بالجراب أو بدون جراب ) وعادة ما يزيد العزل عند النهايات لرفع مستوى العزل السطحي لمنع حدوث شرارة .**


الشكل رقم 2 - 6

**أما بالنسبة لكبلات القوى Power Cables وبالرغم من ارتفاع سعرها إلا أنها تتميز عن الأسلاك الهوائية بما يلي:**

**1- انخفاض معامل الخطورة Risk Factor خصوصا عند قطع أحد الأسلاك**
**2- ارتفاع معامل الاعتمادية Reliability لأن التيار لا ينقطع بسببه تكراريا نسبة إلي الخطوط الهوائية**
**3- لا تتأثر بالصواعق Surges والعواصف والأعاصير والظروف المناخية القاسية .**

جدول رقم 2-5 : الخواص الكهربية لكبلات التليفونات المستخدمة في المدن الكبرى لكل كم طولي

| القطر مم | مقاومة Ω | سعة متوسطة حتى 50 زوج µF | أقصى سعة حتى 50 زوج µF | سعة متوسطة أكثر من 50 زوج µF | أقصى سعة أكثر من 50 زوج µF |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.4 | 148 | 0.05 | 0.055 | 0.05 | 0.055 |
| 0.5 | 95 | 0.055 | 0.055 | 0.05 | 0.055 |
| 0.6 | 65.8 | 0.041 | 0.045 | 0.03 | 0.043 |
| 0.7 | 48 | 0.042 | 0.046 | 0.04 | 0.044 |

جدول رقم 2-6 : بيان بالأسلاك المغناطيسية ( الخزفية والفبرية )

| عزل الأسلاك | قطر القلب مم | سمك العزل مم |
|---|---|---|
| نسيج قطني مزدوج الطبقات | 5.2 – 0.38<br>مستطيل ( 15/2.1 – 5.5/0.9) | 0.33 – 0.22<br>0.44 – 0.27 |
| خزف بالراتنجات وطبقة من نسيج القطن المغزول | 2.1 – 0.38 | 0.22 – 0.17 |
| طبقة خزفية وطبقة من الحرير الطبيعي | 1.56 – 0.05 | 0.16 – 0.08 |
| طبقة خزفية وطبقة فبر مغسول | 1.3 – 0.06 | 0.17 – 0.09 |
| طبقات متتالية من ورق الكبلات أو التليفونات | 1.2 - .2!<br>5.2 – 2.26<br>مستطيل ( 5.6/1 – 19.6/3) | 1.2 – 0.3<br>5.76 – 0.3<br>1.92 – 0.45 |
| طبقات من ورق الكبلات | مستطيل (5.6/1.8 – 14.5/2.1) | 4.4 – 2 |
| ثلاث طبقات فبر مغسول وطبقة قطن مغزول | مستطيل (5.5/0.9 – 14.5/2.1) | 0.53 – 0.38 |

4- لا تتأثر بوجود الطيور Birds وما تسببه من أعطال في الأسلاك الهوائية
بينما تظهر لها بعض العيوب غير الجوهرية مثل :

1- ارتفاع سعرها وبالتالي التكلفة
2- ارتفاع قيمة التيارات المتسربة إلي الأرض Stray Currents to Earth

وهذه الكبلات لا بد وأن تتوافر فيها عددا من المبادئ الأساسية وهي:

1- منع أي تحميل زاد عليها Over Loading
2- ضرورة زيادة سمك العزل لرفع درجة الأمان Safety Factor والاعتمادية عند جهد التصميم
3- يجب تصنيع جميع المكونات من مواد مستقرة Stableكيميائيا وفيزيائيا
4- تحتاج إلي حماية ميكانيكية لتحمل الضغوط الخارجية أثناء التركيب والتشغيل

ومن أهم هذه الكبلات وجدنا الكبلات البحرية Marin وهي التي يجب أن تتوافر فيها بعضا من الخصائص منها :

1- أن توضع في أماكن بعيدة عن التيارات المائية وتأثيرها الديناميكي
2- ضرورة وضع علامات إرشادية وتحذيرية عن وجود كبلات أمام العاملين بالملاحة البحرية
3- يجب تلافي اللحام في الكبل
4- يجب التوصيل بين نقاط ثابتة بصناديق التوصيل Connection Box
5- يتم اختيار الموقع في أقصر مكان عبور مائي
6- ألا يكون الموقع به أعمال جرف ممكنة وبعيدا عن الأرصفة والموانئ .
7- الالتزام برمي الكبل في خط مستقيم وفي حفرة بقاع البحر أو النهر علي عمق 50 – 60 سم من القاع تغطى بشريحة أسمنتية .
8- استخدام مواسير صلبة لتمرير الكبل من داخلها ويشترط أن يكون قطرها الداخلي ضعف القطر الخارجي للكبل تقريبا
9- وضع نهايات علي الضفتين وترك جوالي 30 م للبحار و 10 م للنهر علي كل جانب بصفة احتياطية
10- ترص الكبلات في عدد من الحفر بالقاع متجاورة بينها ما لا يقل عن 25 سم في مجموعات عند الحاجة إلي ذلك

أما عن أعمال التركيب والتي تعتمد علي نوعية القاع ووقت العمل صيفا أم شتاءا أو في موقع جليدي أو غيره وكذلك طريقة التركيب المتبعة ولهذا فهي تحتاج إلي التنظيم التالي :

1- تجميع الكبلات في مجموعات ( متجاورة)
2- التركيب لمجموعات الكبلات علي مراحل تبعا للحاجة المطلوبة من الأحمال الكهربية
3- عدم تداخل المجموعات منعا للضرر الناتج عن أعمال التركيب التالي
4- تتم أعمال التركيب بواسطة غواصين متخصصين في هذه الأعمال

**5- اختبار الكبل بعد التركيب وبعد كل إضافة لوصلة جديدة**
**6- وضع خرائط مساحية ثلاثية الأبعاد لتحديد مسار الكبل وصناديق التوصيل والبيانات الفنية الخاصة بها**

**ومن أهم صفات هذه الكبلات نجد :**

**1- خفة الوزن**
**2- مقاومة التفاعلات الكيميائية**
**3- خواص ميكانيكية عالية مع درجات الحرارة العالية**
**4- مضاد للشرخ**
**5- لا تتأثر بالتآكل الحراري الزمني**
**6- مجال التوزيع الحراري جيد ومتماثل**
**7- خواص كهربية مميزة**

## 2-2 : الخواص الكهربية Characteristics

**يعتمد تصميم الكبلات علي توفير الحماية الذاتية بأقل تكلفة مع وضع المرونة وأسلوب الرمي أو الصيانة أو الكشف والتفتيش في الاعتبار مما يستلزم الدقة في اختيار مكونات الكبل وصفاته الهندسية ومن أهمها :**

**1- مقنن التيار**
**2- مقنن جهد التشغيل**
**3- شكل تغير الأحمال علي الكبل**
**4- الاحتمالات لقيمة وشكل موجات الجهد الصاعقي**
**5- طريقة رمي الكبل**
**6- الظروف البيئية المحيطة .**

**تعطي المعاملات الكهربية للكبلات مؤشرا لحالة الكبلات ويتم حساب الكبلات ضئيلة التيار تبعا للتيار والمقاومة الميكانيكية للعزل بينما ينضم إليهما التأثير الحراري ويصبح أساسيا في التصميم للجهد الأعلى ومن أهم المؤشرات الكهربية تظهر زاوية العزل $\tan\ \delta$ ويتبع في التصميم ما يلي :**

**1- اختيار مقطع القلب المعدني المناسب للتيار المقنن**
**2- حساب توزيع المجال وسمك العزل الكهربي الضروري**
**3- حساب تأثير الانتقال الحراري**
**4- تعديل ما سبق حسابه تبعا للتأثير الحراري والتأكد ثانية**
**5- يمكن إدخال نظم التبريد الحراري عند الضرورة في الأحمال العالية سواء بالزيت ( الساري أو المضغوط ) لنقل الحرارة إلي الخارج**
**6- التأكد مرة أخري**

**ينتج المجال الكهرومغناطيسي في العزل لكبل بقطر r مع التيار المتردد حيث يظهر المجال الكهربي V بدلالة الشحنة Q في وحدة العزل فراغيا والنفاذية التخلخلية $\varepsilon\ \varepsilon_o$ ( = 0.0885 فاراد / م ) بشدة قدرها فنحصل علي :**

$$\nabla^2\ V + Q \quad / \ (\varepsilon\varepsilon_o) \quad = 0 \qquad (2\text{-}1)$$

**حيث القيمة النسبية للعزل $\varepsilon$ والتحويلية (Laplacian) لابلاس $\nabla^2$ وذلك مع حرارة العزل T فيكون معدل انتقال الحرارة من وحدة حجم العزل q كثافته $\gamma$ بتوصيلية حرارية $\lambda$ وسعة حرارية C :**

$$\nabla^2 \quad T + q / \lambda \quad = 0 =(\gamma C / \lambda)\ |T/\ |\ t \qquad (2\text{-}2)$$

**ومن ثم نحصل علي المعادلة الأخيرة في المحاور الأسطوانية ( مسافة z وزاوية $\phi$ ) :**

$$\nabla^2 V = (1/r)\ |\ /\ |\ r\,(r\ |V/\ |\ r) + (1/r)\ |\ V/\ |\phi + \ |V/\ |z =$$
$$= (1/r)\ |\ /\ |\ r\,(r\ |V/\ |\ r) \qquad (2\text{-}3)$$

**باعتبار عدم وجود شحنات حجمية في العزل الكهربي وعدم تراكم حراري في منطقة العزل نصل إلي :**

$$\nabla^2 V = \nabla^2 T = 0 \qquad (2\text{-}4)$$

**بالنسبة للكبلات دائرية المقطع وحيدة القلب تكون المعادلة بثابت تكامل $A$=( r |V/ | r)$ ]**

$$(1/r)\ |\ /\ |\ r\,(r\ |V/\ |\ r) = 0 \qquad (2\text{-}5)$$

**لجهد القلب المعدني $V_o$ بقطر $r_o$ مع فرض أن جهد الجراب صفريا نستنتج ثابت التكامل بالقيمة :**

$$A = -V_o / \ln(R/r_o) \qquad (2\text{-}6)$$

**ونحصل علي قيمة شدة المجال الكهربي $E$ بالصيغة :**

$$E = -\ |V/\ |\ r = V_o \ / r \ln(R/r_o) \qquad (2\text{-}7)$$

**هذه العلاقة صحيحة فقط إذا كان العزل ثابتا بين الجراب والقلب وحيث أن الحلي الرياضي يصعب مع عدم ثبات هذا العزل فيلزم محاولة توزيع المجال بالتساوي علي طول عمق العزل وهذا لا يمكن تحقيقه عمليا ولكن يمكن تحسين الفارق بين طرفي شدة المجال الأقصى والأدنى ولهذا ظهرت الحاجة إلي تعدد طبقات العزل داخل الكبل ويكون العزل الأقوى هو الأقرب من القلب المعدني للكبل ، وكبلات التيار المستمر ذات توصيلية $\gamma$ مقلوب المقاومة ) مع تيار امتصاص عن تسرب الشحنات الساكنة المتراكمة علي الأسطح والذي يتأثر بالثابت الزمني لحالات الانتقالية بينما لكبلات التيار المتردد يطولا لثابت الزمني أو يقصر ويصبح توزيع المجال بتزحزح كهربي للشحنات $D$ تبعا للصيغة :**

$$D = (\varepsilon\varepsilon_o)\ E = -(\varepsilon\varepsilon_o)\ \ |V/\ |\ r \qquad (2\text{-}8)$$

**إذا قل هذا الزمن عن نصف دورة فتزيد كثافة التيار $j$ :**

$$j = \gamma E = -\ \gamma\ \ |V/\ |\ r \qquad (2\text{-}9)$$

**ويكون الانتقال الحراري في وحدة الحجم $q$ محددا بالعلاقة :**

$$-\lambda\ \ |\tau/\ |\ r = q \qquad (2\text{-}10)$$

**فالزيادة الحرارية $\tau$ تعبر عن الفرق الحراري بين حرارة الجراب $T_{sh}$ ودرجة الحرارة عند بداية العزل $T$ :**

$$\tau = T - T_{sh} \qquad (2\text{-}11)$$

ومن الوضع التماثلي فيمكننا اعتبار :

$$D \sim j \cong q \quad \& \ (\varepsilon\varepsilon_o) \sim \quad \gamma \quad \sim \lambda \qquad (2\text{–}12)$$

فنحصل علي المعادلة التفاضلية

$$|V/|\ r \quad \sim \quad |\tau/|\ r\ , V = T \qquad (2\text{-}13)$$

باعادة توزيع الشحنات علي السطح S لمنع تيار التسرب I مع الحرارة الكلية $Q_t$ داخل السطح المغلق فتكون المعادلات التكاملية :

$$\text{Integral } D\, ds = Q \quad , \text{Integral } jdS = I \quad , \text{Integral } qdS = Q \qquad (2\text{-}14)$$

بفرض عدم تواجد مصدر حراري خارجي واختفاء ظاهرة التكتل الفراغي للشحنات (Space Charge) فنجد للوحدة الطولية من الكبل مع الفقد الحراري $p_c$ الممثل للحرارة الكلية داخل الكبل نجد

$$-\ |V/|\ r = E = Q/(2\pi\ r\ \varepsilon\varepsilon_o) = I/\ 2\pi\ \ r\,\gamma = p_c\ /\ 2\pi\ \ r\,\lambda \qquad (2\text{-}15)$$

بتكامل المعادلة السابقة نستنتج السعة C للكبل

$$C = Q/V_o = 2\pi\ \ r\ \varepsilon\varepsilon_o\ /\ \ln R/r_o \qquad (2\text{-}16)$$

وشدة المجال الكهربي وضع بالعلاقة

$$E = V_o/(r\ \varepsilon\ \ \text{Integral}\ [\ \ dr\ /\ r\ ]\ \ ) \qquad (2\text{-}\ 17)$$

ونحصل علي قيمة مقاومة العزل $R_{ins}$ بالصيغة

$$R_{ins} = V_o/\ I = \tfrac{1}{2}\pi\gamma \quad \ln R/r_o \qquad (2\text{-}18\ )$$

أما الزيادة الحرارية الأعلى τ فوق درجة حرارة الجراب الخارجي فتتحدد بالقيمة :

$$\tau = p_c\, \pi\, \lambda \quad \ln R/r_o \qquad (2\text{-}19\ )$$

ومن الصورة العامة لقانون أوم تكون المقاومة الحرارية لوحدة الطول $S_{ins}$ هي

$$S_{ins} = \tfrac{1}{2}\pi\lambda \quad \ln R/r_o \qquad (2\text{-}\ 20)$$

مما يشير إلي إمكانية التقارب بين المعاملات المختلفة بالشكل :

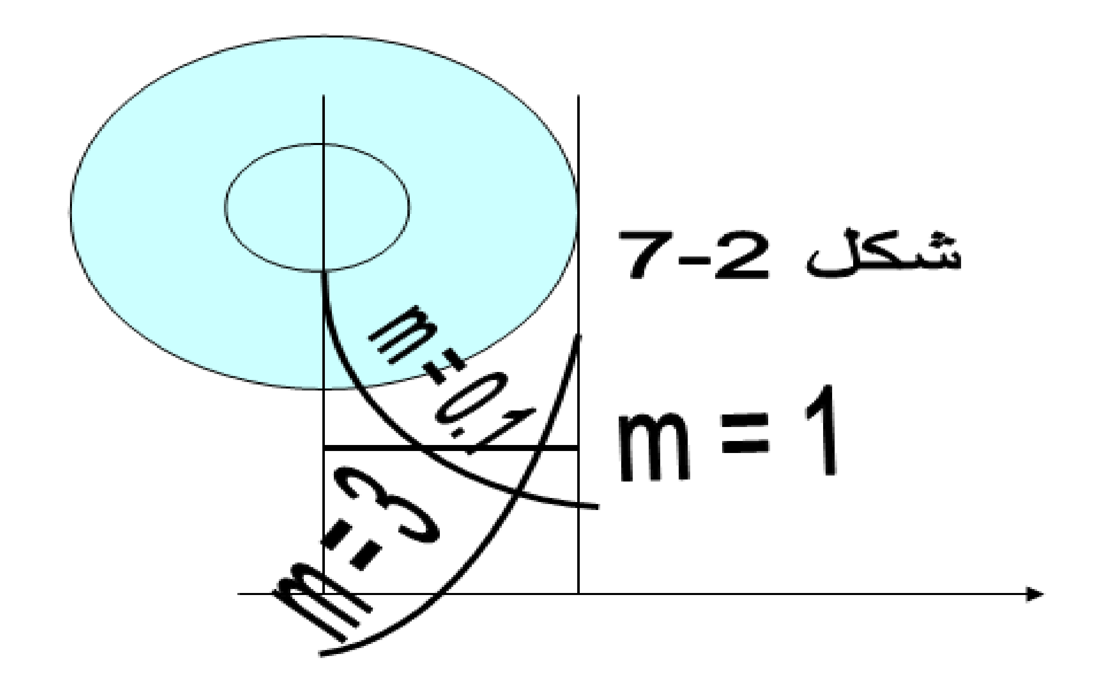
$$1/C \ \sim \ \ R_{ins} \ \ \sim S_{ins} \qquad (2\text{-}\ 21)$$

هذا التشابه نتيجة اعتمادهم علي المعامل الهندسي للنسبة بين أبعاد الكبل والتي ظهرت تحت اللوغاريتم ولذا يمكننا الحصول علي بقية المعاملات إذا تعرفنا علي أيهم بالاستعانة بهذه النسبة بل وتقدم الجداول التطبيقية هذا النسق بشكل جيد ونستعرض بعض الحالات فيما يلي :

## أولا : كبلات التيار المستمر

بوضع الفروض العامة السابقة في التحليل الرياضي وعند التحميل للجهد بدون تيار بالكبل نستطيع التعامل مع التأثير الحراري نتيجة الفقد الكهربي تبعا لقانون جول حيث يتم التصرف الحراري علي أبعاد القلب والعزل الكهربي مما يقلل مقاومة العزل مع ارتفاع الحرارة وتتغير التوصيلية الحرارية معتمدة علي شدة المجال النسبي $E_R$ منسوبا إلي الجراب الخارجي والفقد في الجراب $\gamma_o$ تبعا للصيغة :

$$\gamma = \gamma_o \ e^{(\alpha\tau)} (E/E_R)^k = \gamma (R / r)^m \qquad (2\text{-}22)$$




كما يظهر الشكل رقم 2-7 مدي تأثير هذا المعامل (m) علي مستوى تدرج شدة المجال داخل العزل ، حيث أن هذا المعامل يتحدد لكل نوعية عزل فمثلا للكبلات البولياثيلين قيمته 21 - 24 بينما للعزل الورقي المغمور بالزيت تصل قيمته إلي الصفر كما أن النسبة بين شدتي المجال تأخذ الصورة :

$$(E/E_R)=\gamma_R \ R/r\gamma \ , \ m= [k + (p_c\alpha/2\pi\lambda)]/(k+1) \qquad (2\text{-}23)$$

## ثانيا : كبلات وحيدة القلب

يتميز الكبل المفرد بالتماثل الهندسي حول المحور مما يجعل التوزيع متجانس للمجال الكهربي والمغناطيسي وكنه يكون مرتفعا عند القلب ويقل بشدة بجوار الجراب ولذلك يفقد العزل البعيد عن القلب الكثير من قدرته وإمكان قلة الضغط الكهربي عليه وبذلك تزداد التكلفة بينما نستطيع تحديد معامل الاستغلال الفعلي $\eta$ بدلالة النسبة $R/r_o = N$ بمجال متوسط $E_{av}$ بالمعادلة :

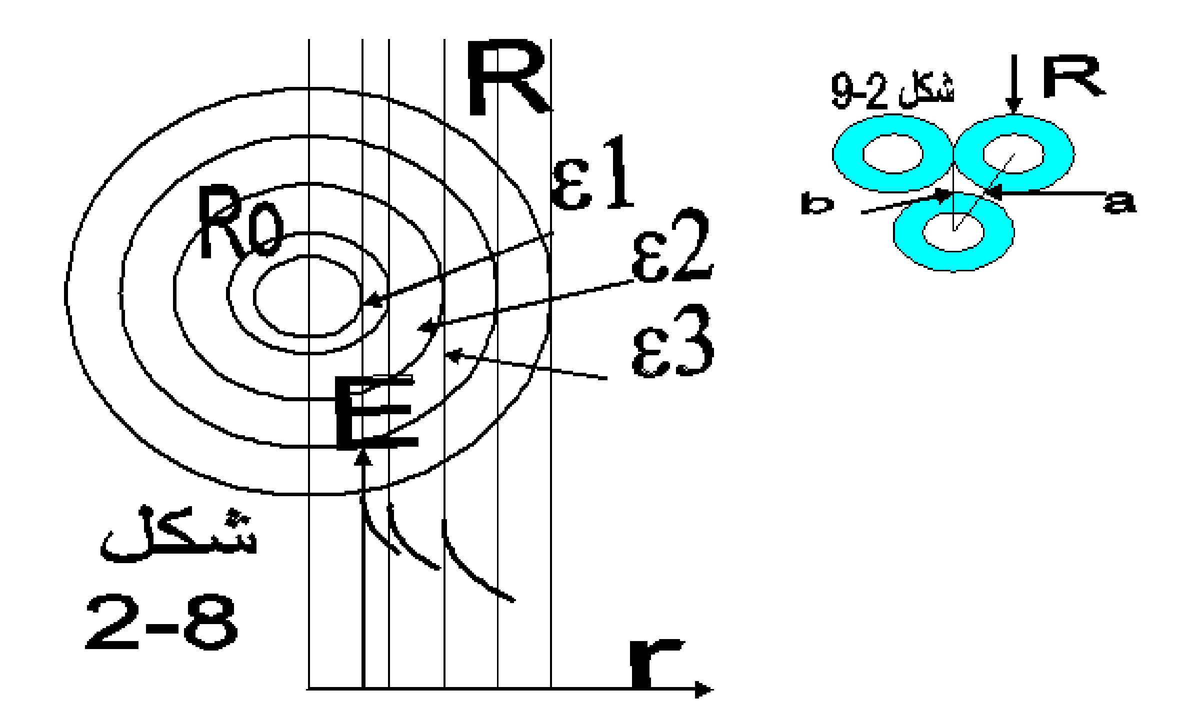
$$\eta = E_{av} / E_m = r_o \ln R/r_o /(R- r_o ) = \ln N/(N-1) \qquad (2\text{-}24)$$

سمك العزل يحدد الجهد التشغيلي الأقصى للكبل ويكون معامل الاستغلال مساو للوحدة لثبوت المجال ومساوية النسبة بين جهد التشغيل وسمك الزل وهذا محتمل في كبلات التيار المستمر علي عكس كبلات التيار المتردد حيث يتم استخدام مواد عازلة متتالية كطبقات فوق بعضها كي لا يكون معامل الاستغلال ضئيلا كما في الشكل 2-8 وبذلك نرفع قيمة معامل الاستغلال كما يعرف باسم العزل المتدرج **Graded Insulation** وتصبح شدة المجال علي النحو :

$$E= V/\varepsilon r\{\ln( r_1/r_o)/\varepsilon_1+1/ \ln( r_2/r_1)/\varepsilon_2+\ldots+ \ln( R/r_{n-1})/\varepsilon_n \} \qquad (2-25)$$

وتكون قيمة السعة هي :

$$C= 2\pi\varepsilon_o / \Sigma \{[ \ln(r_i /r_{i-1})/\varepsilon_i ]\} \qquad (2-26)$$




ففي الحالة المثالية إذا تساوى المجال الأقصى علي كل نوعية عزل في كل طبقة عازلة **i** بجانب تساوي النسبة بين أقصى وأدني شدة مجال في كل طبقة فتكون النفاذية هي :

$$\phi_\iota= E_1/ E_{\iota+1} \qquad \& \qquad \varepsilon_1/ \varepsilon_{\iota+1} =\kappa_\iota$$

ويكون الناتج لقيمة شدة المجال هو

$$E= V/\varepsilon r\{\ln( r_1/r_o)/\varepsilon_1+\ln( R/r_1)/\varepsilon_2 \} \qquad (2-27)$$

حيث نجد معامل الاستغلال بالصورة

$$N= R/r_o= k_{n-1}\ f_{n-1}\ e^{(\psi/\kappa_{n-1})}= kf\ e^{(\psi/\kappa)}$$

$$\psi= V/ r_o E_{1m}- \ln kf \qquad (2\text{-}28)$$

بشرط الحفاظ علي أفضل استغلال تبعا للشرط التالي والممكن للكبلات المطاطية والبلاستيك كما نستخدم كبلات مزدوجة الطبقات

$$f_i\ k_i > 1 \quad \& \ f_{i+1}\ k_{i+1} / f_i\ k_i > 1 \qquad (2\text{-}29)$$

## ثالثا: كبلات ثلاثية القلب

لما كان المجال الكهربي متجانسا في الكبلات مفردة القلب يظهر التباين هنا مع الكبلات ثلاثية القلب فيجعلنا الاعتماد علي الطبقات المتعددة المتتالية لرفع قيمة معامل الاستغلال فالشكل 2-6 يبين الأطوار الثلاثة وفي الشكل 2-9 يتحدد النقاط ( a , b ) علي محيط الدائرة بنصف قطر القلب المعدني بينها العزل بقطر R أكبر. في الكبلات ثلاثية القلب بالجراب غير الشبكي أو تلك غير أسطوانية المقطع حيث المجال غير متجانس تكون مركبة المجال المماسية أقل من تلك المحورية أي العمودية بما يقرب من عشرة مرات ولهذا لا بد من حماية الكبلات العاملة علي الضغط العالي بشبكة فينتج المجال الكهربي المحوري بقيمة كبيرة بينما في الجهود المنخفضة ( التوزيع) نعتمد علي القدرة الميكانيكية والحرارية في التصميم ، ومن ثم نجد من أن شدة المجال القصوى $E_m$ بين وجهين تعتمد علي سمك العزل $\Delta$ وجهد التشغيل الخطي $V_1$ وقطر القلب المعدني $r_o$ وذلك بالصيغة :

$$E_m = V_1\ ( ½\ \Delta + 0.18/ r_o ) \qquad (2\text{- }30)$$

وتظهر أقصى شدة مجال عند النقطة a بالقيمة

$$E_{a,m} = V_1\ \{( N+1)(N-1 )\}^{½} /\{2\ r_o \ln [N+(N^2 -1)^{½} ]\} \qquad (2\text{- }31)$$

تزيد قيمة شدة المجال القصوى في المعادلة هذه عن السابقة التقريبية خصوصا مع القلب البيضاوي (غير دائري) وكننا نعتمد عل معادلات الكبلات مفردة القلب للحصول علي المجال علي سطح القلب الخارجي لاتساع نصف القطر الخاص به ونحصل علي قيمته $R_{seg}$ بالصورة :

$$E_a = V_{ph}\ / [\ R_{seg}\ \ln\{( R_{seg} + \Delta +\Delta_1)/ R_{seg} \}] \qquad (2\text{- }32)$$

ويمكن إهمال الجزء الصغير من السمك ونحصل علي القيمة مبسطة مثل :

$$E_m = V_{ph}\ / [\ r_m\ \ln\{( r_m + 1.155\ \Delta )/ r_m \}] \qquad (2\text{-}33)$$

وتستخدم المعادلات هذه عند حساب جهد التصميم للكبلات ذات الجهد المنخفض حيث المجال الكهربي غير القطري وبالتالي تكون شدة المجال في النقطتين $(_{m,n})$ وبقطر انحناء $\rho_A$ محددة طبقا للمعادلة :

$$E_{m,n} = V_{ph}\ / [\ r\ \ln\{( r + \Delta )/ r \}] \qquad (2\text{-}34)$$

لذلك نتجه إلي عمل شبكة حماية كي نحدد المجال بصورة أسهل من المعادلة

$$E_A = V / [\rho_A \ln\{(\rho_A + \Delta_a)/\rho_A\}] \qquad (2\text{- }35)$$

أما إذا استطعنا إيجاد الشكل الدائري مع الحماية الشبكية هذه حول الكبل مع زيادة عدد الأسلاك الخا رجية m للكبل لأكثر من 12 سلكا :

$$E_m = V \lambda \ln(R/r_o)/[r_o \ln(R/r_o) \ln(\lambda/m) + m \ln(R/r_o)] \qquad (2\text{- }36)$$

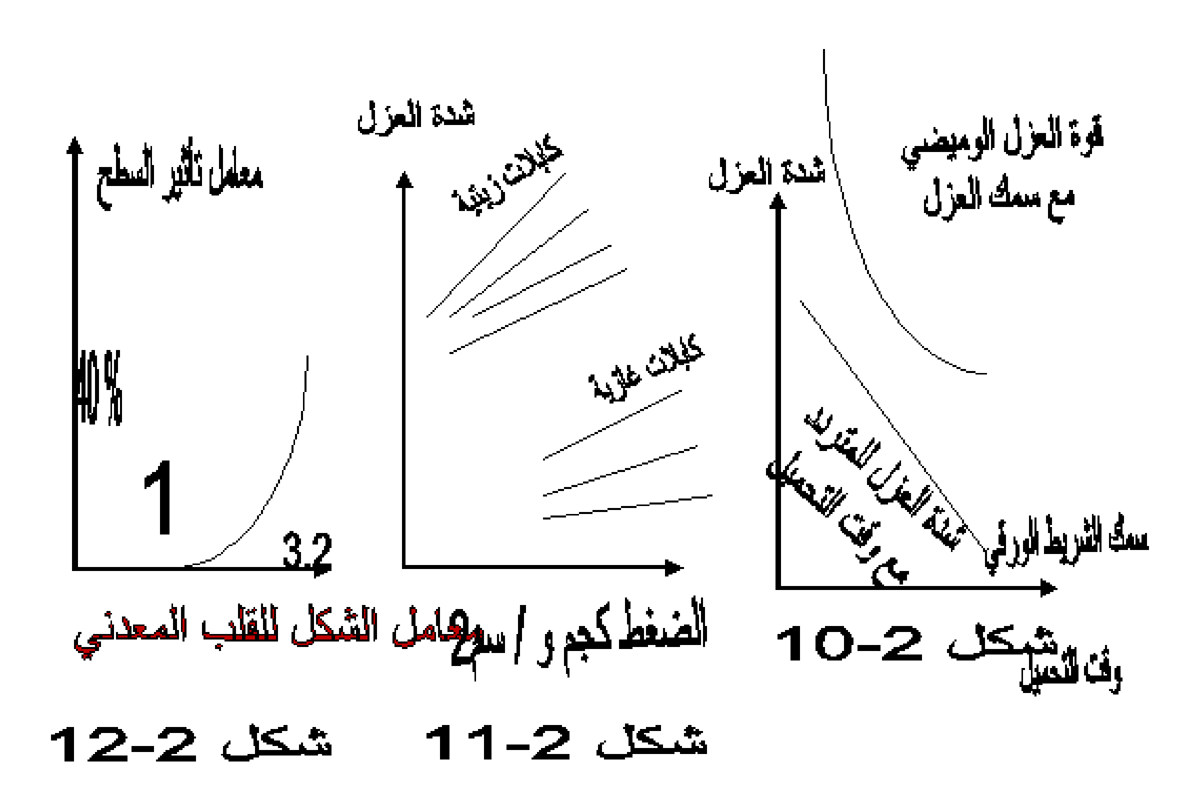
وتتحدد قيمة المعامل $\lambda$ من المعادلة :

$$\lambda = [1+m \sin(\pi/m)]/\sin(\pi/m) \qquad (2\text{-}37)$$

## 3-2 : تصميم العزل الكهربي Design

يتنوع انهيار العزل في الكبلات إلي ثلاث أنواع نتيجة التعقيد في عمليات الانهيار الكهربي في المواد العازلة وتداخل الخصائص الكيميائية والطبيعية إضافة إلي تأير درجة الحرارة علي الوسط وأيضا الجهد الكهربي المستخدم علي توزيع المجال غير المنتظم داخلها وهذه الأنواع هي :

1- الانهيار الكهربي
2- الانهيار الحراري
3- الانهيار التآيني في الغازات المتواجدة داخل العزل الصلب




شكل 10-2

شكل 11-2

شكل 12-2

كما يتأثر بدرجة كبيرة الانهيار في العازل ذو الخواص الطبقية والرقائق العازلة laminated insulation مع تواجد الشحنات الزاحفة creep charges داخل الأشرطة الورقية المشبعة بالزيت impregnated paper tapes وهو ما يسهل من ظهور النقاط الضعيفة داخل الوسط خصوصا مع الزيادة الطولية وهذه الأسس تخضع للقواعد الإحصائية لاختيار أقل قيمة مسببة انهيار العزل ويعطي الشكل رقم 2-10 المنظر العام لتغير شدة المجال للعزل مع التأثير الزمني لتواجد الجهد علي العزل وتأثير سمكه وعمره الذي عادة يؤخذ له العمر الافتراضي (30 سنه).

أما عن تأثير نوعية العزل إذا كان الكبل ذو العزل الزيتي أو المملوء بالغاز فنجد أن العزل الزيتي يصمد أكثر عن تلك الكبلات الزيتية بالرغم من أن كلا النوعين يعتمد علي الضغط الخاص لنوع العزل ويوضح الشكل رقم 2-11 العلاقة بين شدة العزل الكهربي وضغط الزيت أو ضغط الغاز بالعزل وتعطيه هذه العلاقة في صورة رسم Chart يستخدم عند حساب جهد التصميم حيث يعتمد هذا التصميم الكهربي علي تأثير كلا من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي وأيضا تأثير الفقد الكهربي في الجراب الواقي له وهو ما سوف نتعرض له في النقاط التالية .

## أولا : جهد التصميم

نتبع القواعد التالية عند تصميم الكبل:

1- قوة تحمل العزل ذو الخصائص غير المتماثلة علي طول المسار
2- مدة سريان التيار الكهربي بصفة مستمرة دون انقطاع
3- الجهود الانتقالية (الداخلية أو الخارجية) المحتملة والتي تعتمد علي مكونات الدائرة الكهربية

بذلك يتم اختير جهد التصميم لحالتي التشغيل واحتمالات انهيار العزل كهربيا نتيجة الجهد الصناعي ( 50 – 60 هيرتز) معتمدا علي قيمة الجهد الخطي ولذلك يظهر معامل خاص بالنظم ثلاثية الطور تبعا للمعادلة :

$$V_1 = k_1 \; k_2 \; k_3 \; k_4 \; V_{rated} \quad / [3]^{½} \qquad (2- 38)$$

جميع المعاملات بهذه المعادلة مجدولة بالجدول رقم 2-7 تبعا للحالات التطبيقية .

الجدول رقم 2-7: ثوابت التصميم لجهد التصميم لذبذبة التشغيل

| معامل | اختصاص المعامل | القيمة التقريبية |
|---|---|---|
| $k_1$ | يمثل أقصى زيادة ممكنة في جهد التشغيل المعتاد | 1.15 |
| $k_2$ | الانخفاض المحتمل في شدة العزل بالتصميم عن القيمة الفعلية وتخضع للإحصائيات نتيجة ظهور الثغرات في العزل وهي 15-20 % بجانب التأثيرات الأخرى 10-25 % | 1.5-1.25 |
| $k_3$ | يعطي تأثير الجهود الزائدة الداخلية والتي تصل 310 % لجهد 110 ك. ف. و 225 % لجهد 500 ك. ف. | 2.5-2.25 |
| $k_4$ | يمثل انخفاض ضغط الزيت في الكبل الزيتي أو ضغط الغاز في الكبلات الغازية (كفاءة العزل ) | 1.2-1.1 |

يمكن تبسيط هذه المعادلة بدمج الثوابت معا ويتراوح قيمته من 3 إلي 5 مع العازل الجيد وإضافة الوقاية المناسبة .

أما جهد التصميم لاحتمال ارتفاع الجهد بناء الموجات النبضية وتأثيره علي تقليل قدرة العزل يكون عمليا في حدود 1.3 – 1.1 بينما جهد الاختبار يتبع الجدول 2-8 حيث القيمة الدنيا تشير إلي استخدام الكبلات غير المتصلة مباشرة مع الخطوط الهوائية حيث لا تتواجد الموجات المسافرة المرتدة والمسببة للجهود الزائدة بينما القيمة المقصرة reduced تعني القيمة المطلوبة للكبلات ذات التأريض لنقطة التعادل وتلك المتصلة مع الخطوط الهوائية التي تستقبل هذه الموجات ونشير إلي الضرر البالغ لتكرار الاختبار النبضي ولهذا يجب ترشيد هذا النوع من الاختبارات.

الجدول رقم 2-8: جهد اختبارات الكبلات ( ك. ف . )

| جهد مقنن | جهد تشغيل أقصى | جهد اختبار أدنى | جهد اختبار عادي | جهد اختبار مقصر |
|---|---|---|---|---|
| 33 | 36 | 154 | 170 | - |
| 110 | 123 | 420 | 550 | 450 |
| 132 | 145 | 500 | 650 | 550 |
| 150 | 170 | 560 | 750 | 650 |
| 220 | 245 | 820 | 1050 | 900 |
| 380 | 420 | 1360 | 1550 | 1425 |

**نستخدم عادة مادة من طبقتين من العزل المتدرج في شدة عزله في كبلات الجهد العالي والتي دائما تكون مدعمة screened حول القلب المعدني والعزل كطبقة خارجية من الجراب sheath المؤرض لمعادلة توزيع الجهد علي العزل وتقليل تأثير المعدن علي عمر العزل لأن جودة التركيب تقلل من ظهور الثغرات الهوائية وهي دائما السبب الرئيسي في انهيار العزل أو ضعفه علي الأقل حيث شدة المجال تتناقص بزيادة القطر مما يفيد زيادة سمك العزل تدريجيا في كل طبقة عن سابقتها مع الحفاظ علي معامل الأمان safety factor ثابتا فيقل بذلك عدد الشرائط الورقية فترفع جودة العزل insulation wrapping وبهذا نحسب سمك العزل تبعا للصيغة :**

$$N = R / r_o = k\, f\, e^{([V / r_o E_1 \omega - \ln f\, k] / k)} \qquad (2\text{-}22)$$

**ويتم حساب جهدي التصميم ومن ثم نختار السمك الأكبر فمثلا لحساب عزل الكبل 220 ك. ف. الزيتي بضغط 15 جوي فإذا كان قطر القلب 24.4 مم نختار معاملات التصميم تبعا لنوعية الورق العازل وسمكه والمجدول بعضه في الجدول رقم 2-9 حيث نختار ثلاث بسمك 0.075 ، 0.125 ، 0.175 مم ومن الرسم الخاص Chart للوصول إلي شدة العزل بعد مدة تشغيل ومثيله من الجهد الوميضي فنحصل علي قيمة المعامل لجهد ذبذبة التشغيل :**

$$N_1 = R / r_o = k\, f_1\, e^{([V_1 / r_o E_1 \omega - \ln f_1 k] / k)} = 1.23\,(1.064)\, e^{([508/12.2\,(50) - \ln 1.23\,(1.064)] / 1.23)} = 2.07 \qquad (2\text{-}41)$$

الجدول رقم 2-9 : أنواع العزل الكهربي وخصائصها

| رقم الطبقة | سمك الورق ، مم | كثافة الورق ، جم/سم3 | سماحية | جهد كسر ، ك. ف./مم | شدة مجال نبضي ، ك. ف./مم | نسبة مجالي جهد التشغيل $E_2/E_1$ | نسبة المجالين للجهد النبضي | نسبة السماحية $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.075 | 1.2-1.1 | 4.3 | 50 | 100 | - | - | - |
| 2 | 0.125 | 0.9-0.85 | 3.5 | 47 | 90 | 1.064 | 1.11 | 1.23 |
| 3 | 0.175 | 0.9-0.85 | 3.5 | 46 | 86 | - | - | 1.23 |

والمعامل الثاني الخاص بالجهد النبضي يصبح

$$N_2 = 1.23\,(1.11)\, e^{([1.08/12.2\,(100) - \ln 1.23\,(1.11)] / 1.23)} = 2.18 \qquad (2\text{-}42)$$

وبهذا يكون جهد التصميم للذبذبة هو

$$V_1 = 4 \ (220) / SQRT\ 3 = 508\ kV$$

بينما جهد التصميم للنبضي يكون

$$V_2 = 900\ (1.2) = 1080\ kV$$

من هذه النتائج نختار القيمة الأكبر للمعاملات وهي $N_2$ والذي ينتج عنه سمك العزل المطلوب بينما يتم الاختيار لحالات الجهد المنخفض والتوزيع بناء علي قيمة الجهد للذبذبة وباستكمال المثال نحصل علي نصف القطر بقيمة ( $R_2 =$ $2.18\ (12.2) = 26.6$ mm ) وسمك العزل بقيمة ( $R_2 - r_o = 14.4$ mm ) ويكون نصف القطر الأول هو $r_1 =$ $12.2 = 16.6$ mm $(1.23)$ 1.11 ويتم التفاضل بين الأنواع المختلفة لتحديد الأنسب حيث أقل سماحية 0.125 كطبقة أولى و يكون السمك 0.075 فيصل السمك إلي $r_1 - r_o = 4.4$ mm والفاصل بين الطبقتين يحسب بنفس الأسلوب مع اعتبار f للطبقة الثالثة وبقيمة ( $f = 100/86 = 1.162$ ) ثم ( $r_2 = 1.162\ (1.23)\ 12.2 = 17.4$ mm ) .

مادام التصميم يتم علي الجهد النبضي وبعد تحديد السمك يجب عدم الخروج عن قيمة الجهد 508 ك. ف. كما يلي :

عند الجهد النبضي 1080 ك. ف. يكون شدتي المجال علي الطبقيتين هما 100 ، 90 ك. ف. / مم ولجهد الذبذبة 8ز5 ك. ف. تكون النسبة بين الجهدين 2.12 ومن ثم لا حاجة لإعادة الحساب بل يمكن أخذها كنسبة من الحسابات السابقة فتكون للطبقة الأولي 47.1 والثانية 42.5 ك. ف. حيث لم تصل القيمة إلي جهد التصميم لأي من الطبقات ، أما إذا خرجت القيمة لزم التعديل وإعادة الحساب مرة أخرى وتكرار نفس الطريقة كما تتبع أيضا نفس طريقة الحساب مع الكبلات الغازية .

بالنسبة للكبلات الورقية المغمورة بالزيت **tough impregnated cables** فيكون اختيار شدة الجهد طويل المدى بقيمة 12 ك. ف. / مم ومعامل أمان 3.5 – 4 ، مع كبلات التوزيع 6 – 10 ك. ف. بالقلب المقسم **segmental core cables** يظهر المجال غير القطري ويكون جهد التصميم أقل عن سابقه م ضرورة التأكد من أقصى شدة مجال أما بالنسبة للكبلات المعزولة بالبلاستيك فإنها لا تعتمد علي قطر القلب المعدني وبهذا يؤخذ جهد التصميم علي أساس شدة المجال المتوسط وليس الأقصى وهو يتراوح بين 1.8 حتى 2.5 ك. ف. ظ مم ويزيد معامل الأمان لها وخصوصا الميكانيكي إذا كانت كبلات في جهد التوزيع ومن الهام طلاء القلب المعدني بطبقة رقيقة من البولي اثيلين ( شبه موصل ) قبل العزل ويوضع عليه حماية **screen** وغيرها عند اللزوم .

## ثانيا : المجال المغناطيسي

بمجرد مرور التيار في الكبل يتولد مجال مغناطيسي حوله فيؤثر في :

### 1- زيادة مقاومة القلب المعدني نتيجة لكل من

(أ) تأثير السطح **surface** حيث يزيد تأثره م الأقطار الكبيرة ومع الذبذبة العالية
(ب) تأثير التجاور **proximity** ويظهر لتقارب الكبلات العاملة تحت جهد من بعضها سواء كانت أحادية أو ثلاثية القلب وتأثيرها يجب أن يدخل في الحسابات الخاصة بتصميم الكبلات .

نتيجة لذلك يتم التعبير عن نسبة المقاومة رياضيا بالصيغة

**نسبة المقاومة = مقاومة القلب (متردد)/ مقاومة القلب (تيار مستمر) =**
**= 1 + معامل تأثير السطح + معامل تأثير التجاور (2-43)**

ويمكن من الشكل رقم 2-12 الحصول علي معامل تماثل شكل القلب X كدالة في الذبذبة f والمعامل الخاص بالتماثل للقلب k ويساوي الوحدة للقلب الدائري ويوضح ذلك العلاقة بين معامل المقطع المعدني وتأثير السطح علي المجال الكهربي كما نجد معامل التماثل رياضيا بالصيغة .

$$x = 0.159\ (10)^{-2}\ SQRT\ (f\ k\ /\ R_{DC}) \qquad (2\text{-}44)$$

بينما معامل التجاورy يعتمد علي معامل السطح $y_{(surface)}$ وقطر القلب $d_o$ والمسافة المركزية بين كل قلبين متجاورين S ويأخذ الشكل :

$$y = \{1.18\ y_{(surface)}\ /\ (0.27 + y_{(surface)}\ \}/\{d_o\ /S\ \}^2 \qquad (2\text{-}45)$$

2- النسبة بين المقاومتين تتأثر بمقطع القلب وهو مؤثر ويمكن التغلب علي هذه الظاهرة بتقسيم المقاطع الكبيرة إلي أجزاء صغيرة معزولة عن بعضها ( طلاء طل شعيرة بطبقة عزل رقيقة السمك ) فينخفض المعامل k إلي 0.37 – 0.5 أما الكبلات داخل المواسير الصلبة يرتفع لها مجموع المعاملين بنسبة 70 – 100 % لزيادة المجال المغناطيسي نتيجة ظهور الماسورة الصلب . فمثلا لحساب مقاومة التيار المتردد لكبل 550 مم2 وقطر قلبه 41 مم ومسافة مركزية بين كل قلبين متجاورين بقيمة 205 مم ند درجة حرارة القلب 70° م فنجد مقاومة التيار المستمر$R_{dc}$ :

$$R_{dc} = 1.015\ \rho_{20}\{1 + 0.004\ (70\text{-}20)\}/Q = 1.015\ (0.182)\ (1+0.2)/550 = 40.3\ \mu\Omega\ /m$$

حيث المعامل 1.015 يتضمن زيادة المقاومة نتيجة العصر الميكانيكي للقلب twisted core ومن ثم نحصل علي

$$x_{(surface)} = 0.159\ (10)^{-2} SQRT\ (f\ k\ /\ R_{DC}) = 0.159\ (10)^{-2}\ SQRT\ 50.1\ /\ 40.3\ (10)^{-6} = 1.77$$

وبالنسبة للتجاور نحصل علي

$$x_{(proximity)} = 0.159\ (10)^{-2}\ SQRT\ \ (50(0.8)\ /\ 40.3\ (10)^{-6}\ \ ) = 1.6$$

بالاستعانة بالمنحنيات الخاصة بتأثير السطح نجد القيمة المرادفة 0.04 وبهذا نجد معامل تأثير التجاور بالقيمة

$$y_{(proximity)} = \{[\ 1.18\ (0.03)]/[0.03+0.27]\}\{41/205\}^2 = 0.0047$$

ومقاومة التيار المتردد تكون

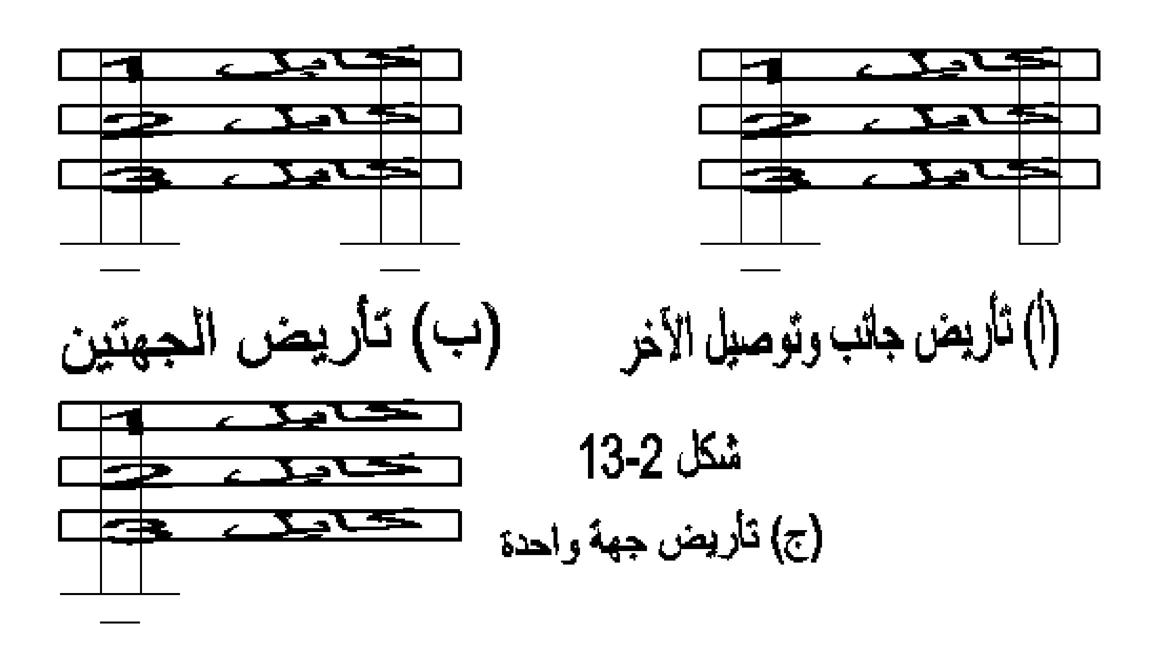
$$R_{ac} = 1 + y_{(surface)}\ \ + y_{(proximity)} = 40.3\ (10)^{-6}(1+ 0.04 + 0.0047) = 42.1\ \mu\Omega\ /m$$

وتصبح النسبة Ratio = 42.1 / 40.3 = 1.045

## ثالثا : الفقد في الجراب

الفقد في الطاقة الكهربية والمتواجد بالجراب كما يظهر من الشكل رقم 2-13 أسلوب التأريض الذي جاء في التحليل الرياضي كي يوضح الفرق بين حالات التأريض المختلفة ، كما يقدم الشكل رقم 2-14 الشكل التخطيطي لتأثير خطوط المجال الكهرومغناطيسي لكبل مفرد وحيد القلب يحمل التيار الكهربي علي آخر مجاور له ويقع في نطاق المجال المغناطيسي أو إذا ما كان الكبلين بهما تيارين فسوف يتداخل المجالان معا ويتأثر كل كبل بالآخر .

نستطيع النظر إلي الشكل الكهربي المكافئ للكبل نسبة إلي القلب وتواجد الجراب حوله كما لو كان ملفا ابتدائيا لمحول هوائي العزل والجراب كملف ثانوي خصوصا وأن الجراب معدني (رصاص أو ألومنيوم) وتظهر احتمالات ثلاثة كما في الشكل 13-2 :




شكل 13-2

<u>الحالة الأولى</u> : توصيل الأجربة معا من ناحية واحدة وتأريضها من نفس المكان ( الشكل ج )

تتناسب القوة الدافعة الكهربية مع طول الكبل بمعدل 50 – 200 ك. ف. / كم حيث القيمة الأكبر تعبر عن القصر والتيارات العالية وهو غير مرغوب ولذلك يكون هذا التوصيل بحالة حرجة ولا يوصى بالاعتماد عليه.

<u>الحالة الثانية</u> : توصيل الأجربة من النهايتين وتأريضهما ( الشكل ب )

يمر التيار في الجراب بما يقرب من 20 – 80 % من قيمة تيار القلب الأصلي ويكون جهد الجراب صفريا لأن القوة الدافعة الكهربية لوحدة الطول تساوي الفرق في الجهد نتيجة مرور التيار بالجراب.

<u>الحالة الثالثة</u> : تشبه الثانية م زيادة إمكانية ظهور القوة الدافعة في الجهة غير المؤرضة

بفرض كبلين (مفرد القلب) متجاورين ( الشكل رقم 14-2) وبسماحية مغناطيسية في الفراغ $\mu_o$ يظهر المجال المغناطيسي حول الكبل به تيار I بشدة مجال H أ/م بكثافة مجال B بوحدة ف ث/م$^2$ وهما :

$$H = I / 2\pi r \quad , \quad B = I\ \mu_o / 2\pi r \qquad (2\text{-}46)$$

يتناسب المجال $\Psi$ مع قوة الدفع الكهربي في الجراب بالكبل الآخر بعدا وقربا من الأول ( حامل التيار ) والفيض المغناطيسي في الوسط غير المخلخل بسماحية $\mu$ (تساوي الوحدة للمواد غير المغناطيسية ) يظهر بالمعادلة التكاملية :

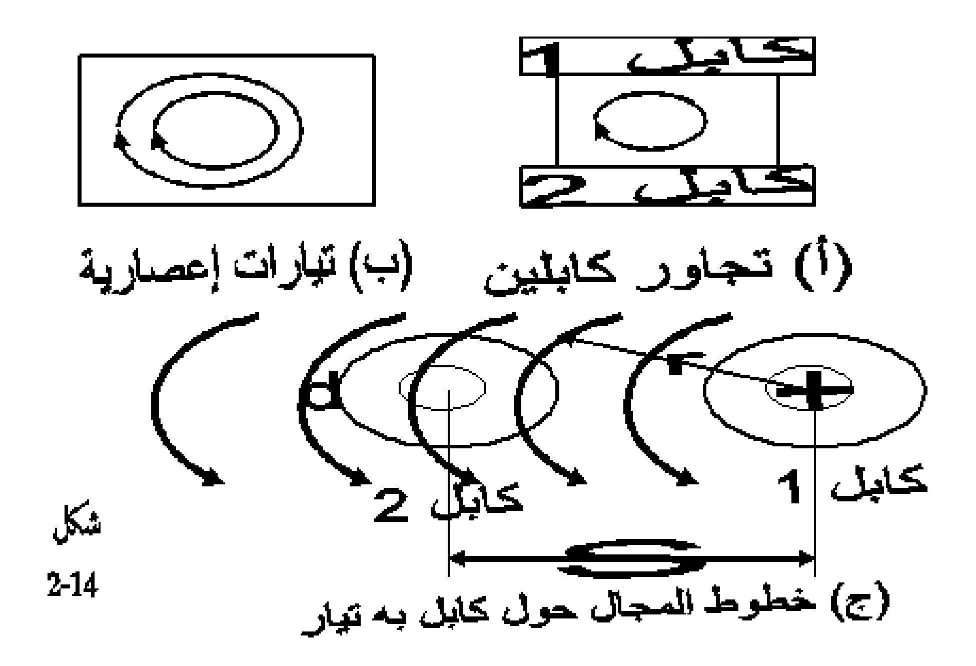
$$\Psi = I\,[\mu\,\mu_o / 2\pi]\ \text{Integral}\ dr/r = I\,[\mu\,\mu_o / 2\pi]\ \ln(S/R) \qquad (2\text{-}47)$$

المعامل الحثي M بين القلب المعدني حامل التيار والجراب المعدني للكبل الآخر يتحدد من

$$M= \Psi /I = [\mu \mu_o / 2 \pi] \ \ln (S/R) \qquad (2\text{-}48)$$

ويتولد جهد بالكبل الثاني نتيجة تيار الكبل الأول بقيمة

$$E_2 = j \omega M I \qquad (2\text{-}49)$$




شكل 2-14

بينما الجهد المتولد بالكبل الثاني نتيجة التيار الأصلي به وتيار الجراب المار به يكون

$$E_{2o} = j \omega M (I+I_{1o}) \qquad (2\text{-}50)$$

وبالتالي تكون محصلة الجهد المتولد نتيجة التيارات في المبلين هي

$$E = 2 j \omega M (I+I_{1o}) \qquad (2\text{-}51)$$

وهو نفس الجهد E المساوي لفرق الجهد بين الجرابين نتيجة مرور التيار في مقاومة الجراب تبعا للصيغة

$$E = 2 R_{sh} I_{1o} \qquad (2\text{-}52)$$

ويكون التيار المتولد في جراب الكبل الأول بقيمة عددية هي

$$\sigma\, I_{1o}\, \sigma = j\ \omega M I / SQRT\{(R_{sh})^2 + \omega^2 M^2\} \qquad (2\text{-}53)$$

وتتحدد النسبة بين الفقد في الجراب إلي الفقد بالقلب المعدني في الصورة

$$y_{sh} = I_1^2 R_{sh} / I^2 R_{dc} = [\omega^2 M^2 / \{(R_{sh})^2 + \omega^2 M^2\}][R_{sh} / R_{dc}] = m^2 [(R_{sh}) / R_{ac}] \qquad (2\text{-}54)$$

كما يمكننا التوصل إلي صيغة مماثلة بالنسبة للفقد في الجراب بالنسبة للكبلات ثلاثية القلب مع تغير شكل القلب بينما تسري هذه الصيغة للحالة التماثلية فقط ، أما قيمة النسبة بين الفقد في الجراب إلي القلب في الكبلات أحادية القلب ثلاثية الطور فنعبر عنها بالنسبة للكبل الأوسط في الموقع بالصيغة :

$$(m_2)^2 = (I_{II})^2 / I^2 = 1 / (Q^2 + 1) \qquad (2\text{-}55)$$

وللكبلين الخارجيين نتبع المعادلة

$$(m_{1,3})^2 = \frac{(I_I, I_{III})^2}{I^2} = \frac{P^2 + 3Q^2 + 2\, SQRT\, 3(P-Q) + 4}{4(P^2+1)(Q^2+1)} \qquad (2\text{-}56)$$

كل المعاملات التي ظهرت في المعادلة السابقة تتحدد بالقيم

$$P = R_{sh} / (x+a)\ ,\quad Q = R_{sh} / [x - (a/3)]$$
$$X = 2\,\omega \ln S/R\, (10)^{-4}\ \Omega/km\ \ \&\ \ a = 2\,\omega \ln 2\, (10)^{-4}\ \Omega/km$$

أما الجراب الموحد للكبلات ثلاثية القلب يقوم التأثير المتبادل بين الأوجه بتعويض الفرق ويقلل من التيارات الإعصارية في الجراب إلي الحد الذي يسمح بإهماله ، إضافة إلي أن تسليح الكبلات ferromagnetic armor يساعد علي زيادة الفيض المغناطيسي بين الكبلات أحادية القلب ويؤدي إلي رفع قيمة الحث المتبادل بين القطب والجراب ويكون الفقد أكبر خصوصا وأن السماحية تتراوح بين 300 و 500 ولهذا لا نوصي باستخدام التسليح الصلب للكبلات أحادية القطب ، ويمكن التغلب علي ذلك باستخدام الأسلاك دائرية المقطع حيث نحتاج إلي قوة أكبر لعبور نقاط التلاحم بينها من جراء المقاومة المقابلة إضافة إلي ضرورة جلفنة هذه الأسلاك كي يخفض الفقد ، كما أن التبادل المتتالي للأسلاك الحديدية م النحاسية علي طول مسار الكبل بصفة منتظمة يقلل من الفقد وبهذا تكون نسبة الفقد مع الكبلات الماسورية من النوع المغناطيسي التعامدي diamagnetic pipe للكبلات أحادية القطب منسوبة إلي ثلاثية القطب عند التيار المستمر محددة بالمعادلة :

$$y_{pipe} = P_{pipe} / P_c = 2.06\, D_{av}\ q\ t\ M\, (10)^{-9} / (\rho_{pipe}\ \rho_c) \qquad (2\text{-}57)$$

حيث نجد أن هذه النسبة تعتمد علي مقطع القطب المعدني $q$ (مم) والقطر المتوسط للماسورة $D_{av}$ والسمك $t$ إضافة إلي المقاومة النوعية سواء للقلب $\rho_c$ أو الماسورة $\rho_{pipe}$ بوحدات (أوم مم2/م) ، أما للماسورة المغناطيسية بقطر داخلي $D_{int}$ تكون النسبة هي

$$y_{pipe} = 2.95\, D_{int}\ q\ M\, (10)^{-9} / (\rho_{pipe}\ \rho_c) \qquad (2\text{-}58)$$

**يتضح أن الحث المتبادل يتمد علي النسبة بين البعد بين الكبلات المتجاورة وقطر الماسورة ( 1.36 – 1.51) كما يجب إضافة الفقد في طبقة التسليح في الكبلات مفردة القطب مع وضع الفروض اللازمة لتبسيط الحل فمثلا لثلاث كبلات أحادية القطب متجاورة علي شكل مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه 180 مم وقطر الجراب 60 مم وسمكه 2.5 مم والمقطع النحاسي 550 مم2 والمقاومة النوعية 42.1 ميكرو أوم /م (عند 60° م تكون 49) ومن ثم نحصل علي مقاومة الجراب الرصاصي بالقيمة :**

$$R_{sh} = \rho_{sh}/ \Delta\pi D = 0.21/ (2.5\ 2\pi\ \ 60 )=0.455\ m\Omega/m \qquad (2\text{-}59)$$

**والحث المتبادل بقيمة**

$$M = (\mu_o /2\pi\ ) \ln (2S/D|)= [4(10)^{-7} /2\pi\ ] \ln 360/60 =0.358\ \ \mu H/m$$

**ونسبة الفقد بالمعادلة**

$$y_{sh} = [\ \omega^2\ \ M^2 /\{ (R_{sh})^2\ + \omega^2\ \ M^2\} ][ R_{sh} / R_{dc}]=0.58 \qquad (2\text{-}60\ )$$

**أي أن الفقد في الجراب يصل إلي 85 % من قيمة الفقد في القلب النحاسي مما يدعونا للاهتمام بهذا الفقد لتعاظمه. وأخيرا نجد ظهورا لقوة كهروديناميكية تؤثر علي الكبل وأجزائه وهي قيمة صغيرة للتيار العادي ولكنها ترتفع بشدة مع تيارات القصر أو التيارات العالية جدا وتسبب اهتزازات ميكانيكية ولها صفات مدمرة علي عزل الكبل وتظهر هذه الحالات عند توصيل الكبلات علي قصر أو إعادة توصيلها في مستوي شبكات التوزيع علي قصر بعد الفصل الأول وتكرار ذلك يدمر الكبل وهو ما يتعرض له بالمثل المحولات في شبكات التوزيع عموما .**

## 4-2 : صيانة الكبلات Cable Maintenance

**تشمل أعمال صيانة الكبلات العديد من الأعمال مثل تصنيع بعض الأجزاء أو تخزين قطع الغيار أو ذات الكبلات أو عمليات التركيب والنقل والرفع والجر والشحن ولذلك يتضح أن جميع أعمال الصيانة والاختبارات ما هي إلا أعمالا هندسية دقيقة تحتاج إلي الخبرة والدقة في الأداء والعمل الجاد من أجل الحفاظ علي سلامة هذه الكبلات ذات الأهمية الخاصة داخل الشبكة كمغذيات جوهرية في التوزيع سواء في الأبنية أو المنازل أو العمارات والمجمعات السكنية والنوادي والملاعب الرياضية إلي غير ذلك من أعمال ، وبهذا نكون في أمس الحاجة إلي التعرف علي مبادئ الصيانة في الكبلات الكهربية وهو ما نفصله فيما يلي .**

### أولا: الأعمال الميكانيكية

**تتنوع هذه الأعمال علي نطاق واسع وشامل ولذلك نبوبها علي النحو الوارد في السطور التالية .**

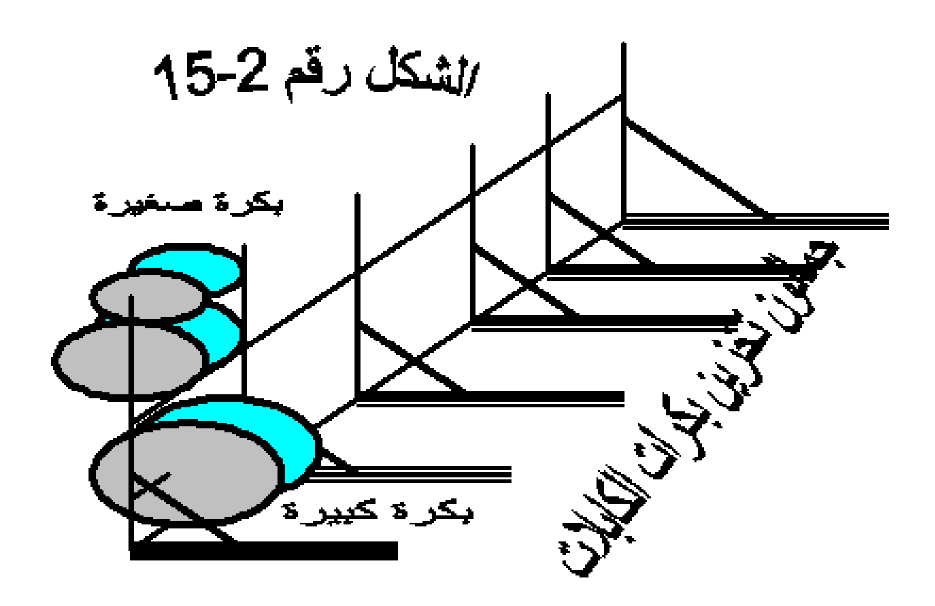
**أ ) تخزين الكبلات**

**يعتبر تخزين الكبلات من عماد الأعمال الهندسية من أجل :**

**1- حماية الكبلات من التلف**
**2- وقاية الكبلات من الرطوبة**
**3- عدم الإخلال بمنظومة الأداء وتعليمات المصنع**
**4- الحفاظ علي مستوى العزل عاليا**

الجدول رقم 2-10: مقننات البكرات حاملة الكبلات ( المسافات بالميليمتر )

| كود البكرة | قطر البكرة | عرض البكرة | قطر تجويف محور البكرة | قطر عامود المحور | وزن عامود المحور | طول عامود المحور |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 400 | 276 | 5 | 30 | 3 | 500 |
| 5 | 500 | 306 | 35 | 30 | 3 | 500 |
| 6 | 600 | 326 | 35 | 30 | 3 | 500 |
| 8 | 800 | 476 | 50 | 45 | 10 | 800 |
| 10 | 1000 | 600 | 50 | 45 | 10 | 800 |
| 12 | 1200 | 600 | 70 | 65 | 26 | 1000 |
| 14 | 1400 | 820 | 70 | 65 | 26 | 1000 |
| 17 | 1700 | 890 | 80 | 75 | 49 | 1400 |
| 18 | 1800 | 1060 | 80 | 75 | 49 | 1400 |
| 20 | 2000 | 1180 | 100 | 75 | 49 | 1400 |
| 22 | 2200 | 1240 | 100 | 95 | 80 | 1450 |
| 25 | 2500 | 1560 | 130 | 110 | 150 | 2000 |
| 26 | 2600 | 1780 | 140 | 110 | 150 | 2000 |
| 30 | 3000 | 2160 | 180 | 140 | 308 | 2400 |

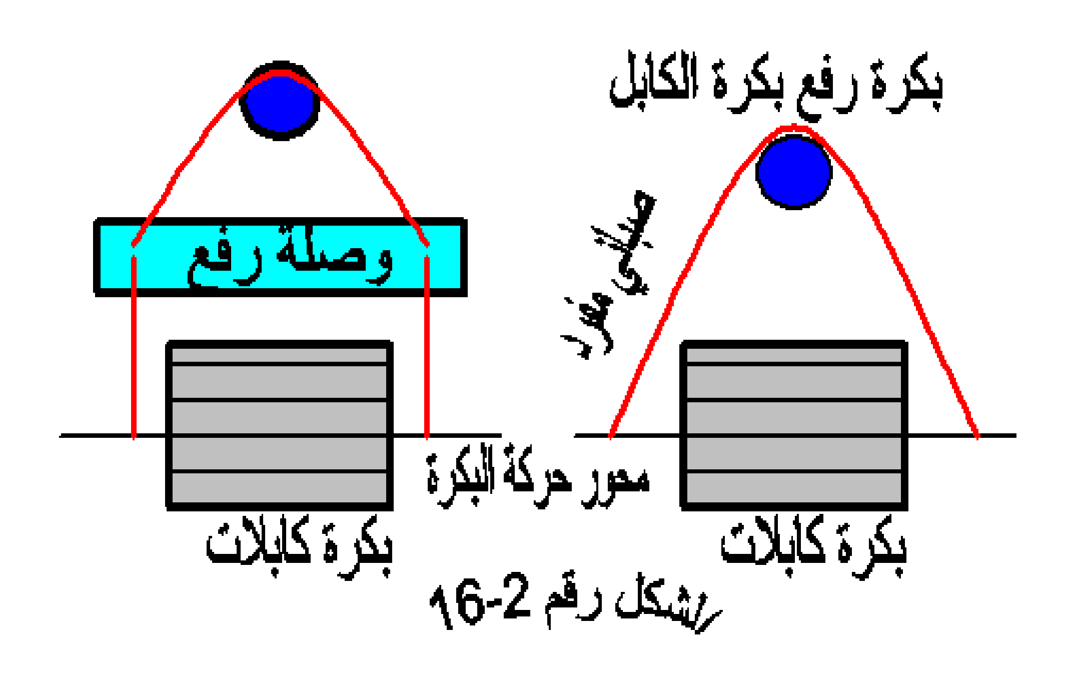



لهذا يجب الاهتمام بالكبلات من حيث المبدأ وذلك طبقا للمواصفات القياسية الخاصة بتخزين الكبلات وهي التي تنتج في مقاسات مقننة ومحددة منعا للتداخل وحرصا علي المصنعين من سرعة استبدال التالف منها وعلاجه ونجد أن الجدول رقم 2-10 يحصر بعضا من مقننات البكرات القياسية والتي يتم وضع الكبلات عليها سواء أثناء النقل أو الرمي ( التركيب ) لأن هذه البكرات هي الملاذ الهندسي السليم للقضاء علي أية تأثيرات ميكانيكية خارجية علي الكبلات .

جدير بالذكر أن هذه المقننات في الجدول تحدد متطلبات الرفع بالأوناش المختلفة في كافة المواقع لكل من هذه البكرات سواء أثناء التخزين أو خلال عمليات النقل بالناقلات المختلفة أو الرفع بالأوناش المختصة والتركيب بالمواقع المحددة لها وتبعا للأصول الفنية المستخدمة في هذا الميدان ، ويبين الشكل رقم 2-15 المنظر العام لهيكل حديدي ثلاثي المستويات لتخزين الكبلات في مواقع التخزين حيث يتم ترتيبهم كما هو موضح بالشكل وبجوار بعضهم البعض كما نلاحظ أن البكرات مغلفة بطبقة من الرقائق الخشبية حماية لها من الخدش أو العصر أو الكدمات وهي هذه التي تسبب في بعض الأحوال التلف الميكانيكي في الكبل وتؤثر علي كفاءة تشغيله .

ب ) رفع البكرات

يتم وضع البكرات محملة بالكبلات كما نراها في الشكل رقم 2-16 حيث يعطي هذا الشكل بعض الأنواع المختلفة للتحميل وكيفية ربط البكرات ورفعها وكذلك بعض الوسائل المتعددة للرفع من أجل رفع أو إنزال البكرة إلي أو من ناقلاتها أو أثناء رفعها لإجراء الرمي في الموقع ويتم ذلك بناءا علي مقتنات قياسية من استخدام أسلاك الصباني والحلقات ووصلات الربط أو التعليق كما هو مبين في الجدول رقم 2-11 وتتحدد حمولة الرفع في كل حالة حتى نستطيع اختيار الأوناش المناسبة تبعا للتنفيذ وموقعه والمعوقات التي قد تواجه العمل التنفيذي فنيا .



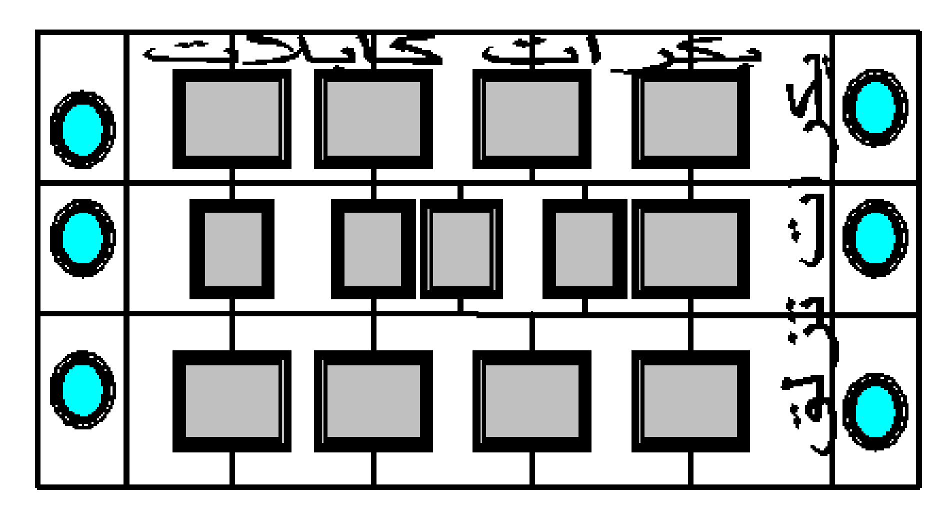
الشكل رقم 2-16

الجدول رقم 2-11 مقتنات رافعات البكرات الخطافية

| حمولة الرفع (طن) | طول (م) | قطر الصباني (مم) | المقبض (مم) | قطر الحلقة (مم) | الوزن (كجم) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 2.85 | 22.5 | 57×70 | 48 | 65 |
| 5 | 1.5 | 18.5 | 50×62 | 42 | 34 |
| 1.5 | 1.4 | 9.3 | 10×30 | 20 | 10 |
| 0.5 | 0.9 | 5.3 | 10×20 | 12 | 3 |

ج ) مد الكبلات

يجب أن يتم رمي الكبلات دون أي تحميل عالي علي الكبل ذاته أو علي مقطع العزل أو القلب المعدني نتيجة شد خاطئ ولذلك يتم ملئ بكرات الكبلات بالمقاسات المختلفة من خلال نظام حركي علي بكرات سهلة الدوران كما يوضحها الشكل رقم 2-17 حيث يستخدم نفس الأسلوب عند فرد الكبلات في مواقع العمل وتركيبها كي نحافظ علي كفاءة أداء الكبلات أثناء التشغيل في الشبكة الكهربية ويبين الشكل أيضا أنه من الممكن استخدام مقاسات مختلفة من الكبلات متباينة المقتنات في ذات مجموعة التجميع والأطوال المعطاة علي الرسم تمثل أحد الهياكل المعدنية القياسية المستخدمة في هذا المجال للبكرات حتى الترقيم الكودي رقم 14 وتظهر بكرات كر الكبلات في مجموعات متخصصة لكل صف حتى لا يجهد الكبل ميكانيكيا ويجدول الجدول رقم 2-12 الأوزان القياسية لمد الكبلات حيث يقدم النوع ثلاثي القلب من الكبلات سواء ذات القلب الألومونيوم أو ذلك من النحاس وذلك لبعض الجهود المنخفضة وجميعها تتبع الجداول القياسية في هذا الصدد .




شكل رقم 2-17

الجدول رقم 2-12 : السماحية أثناء مد الكبلات تبعا للمواصفات

| مقطع الكبل الثلاثي | الأوزان المسموحة (كجم) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | جهد (ك. ف.) | | | القلب | | |
| | 1 | 6 | 10 | نحاس | ضفائر ألومونيوم | ألومونيوم |
| 240 | 750 | 950 | 1000 | 3600 | 2800 | 1400 |
| 185 | 650 | 750 | 850 | 2700 | 2200 | 1100 |
| 150 | 600 | 650 | 750 | 2200 | 1800 | 900 |
| 120 | 400 | 500 | 650 | 1800 | 1400 | 700 |
| 95 | 350 | 450 | 850 | 1400 | 1100 | 550 |
| 70 | 300 | 400 | 500 | 1050 | 840 | 400 |
| 50 | 230 | 350 | 450 | 750 | 600 | 600 |
| 35 | 189 | 300 | 400 | 500 | 400 | 400 |
| 25 | 170 | 280 | 380 | 350 | 300 | 300 |

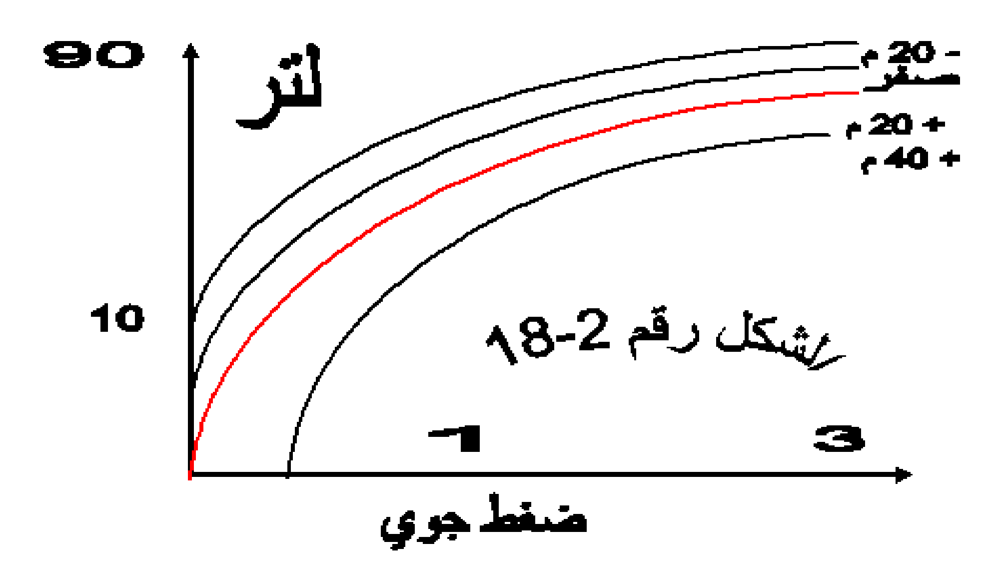
**د ) ماكينات الرفع والجر**

**تتنوع الماكينات المستخدمة سواء في جر الكبلات أو الأوناش اللازمة لرفع البكرات من حيث أسلوب عملها أو طريقة التعامل معها ويقدم الجدول رقم 2-13 بعضا من البيانات الفنية لذات ماكينة السحب محددا لها قيمة الشد الأقصى كي نكون علي علم تام بمدى صلاحية الماكينة المستخدمة لأداء العمل المنوط بالموقع وقبل نقل المعدة حماية للمعدة وللكبل وتوفيرا للوقت سواء أثناء رمي الكبل أو ما يعبر عن زمن كلي مستهلك في أداء العمل .**

الجدول رقم 2-13 : بعض مقننات رمي الكبلات بأحد الماكينات المستخدمة

| البيان | القيمة |
|---|---|
| سرعة رمي الكبلات (م/ق) | 20 |
| قطر الكبل (مم) | 65 – 20 |
| ارتفاع مجموعة الكبل (م) | حتى 350 |
| قدرة السحب (ك.و.) | 4.5 |
| قوة الشد (كجم) | حتى 1000 |
| الوزن الكلي (طن) | 1.9 |

يجب علينا المحافظة علي مستوى ضغط الزيت في حدود 0.3 كم/سم2 كحد أدنى مع عدم ضخ كل الزيت من المغذي الزيتي حتى لا يسمح بدخول الهواء إذا ما برد الزيت مما قد يتسبب في ظهور الفقاعات وهي التي تؤثر بشكل حاد علي مستوى عزل الزيت داخل الكبل ويمثل الشكل رقم 2-18 الإطار العام للعلاقة بين حجم الزيت بالخزان والضغط .



شكل رقم 2-18

تستخدم دوائر ثانوية كهربية تعمل بالتيار المستمر لإعطاء الإشارة الدورية عن حالة ضغط الزيت ومستواه علي طول مسار الكبل ويستقبل هذه الإشارات مهندس الوردية داخل محطة المحولات التي تتصل بهذا الكبل كما تتنوع أعمال الصيانة تبعا لحالة العطل ونعطي إيجازا لهذا العمل علي النحو التالي.

## ثانيا : التصميم الحراري

بالنسبة للكبلات غير الزيتية وهي المتداولة كمغذيات في الشبكات الكهربية في مجال التوزيع فدائما كما هو شائع عمل وصلات للكبلات فمثلا توجد وصلات لكبلات التيار الخفيف وهي عبارة عن وصلات معزولة تماما وغير قابلة للثني لأن هذه المنطقة ضعيفة من الناهية الميكانيكية ولهذا تأخذ هذا الاهتمام حماية لها بجانب الوقاية الكهربية اللازمة بتواجد العزل الضروري لهذه الوصلة . درجة الحرارة ذات تأثير عالي علي العزل لأنها تخفض كفاءة العزل ولي تحمل الأسلاك لمرور التيارات العالية ومع الحرارة المرتفعة ولذلك يجب اتباع المواصفات القياسية لتشغيل الكبلات حيث تحدد كل دولة هذه المواصفات تبعا للمناخ ودرجة الحرارة لديها (الجدول2-14) كما أن التشغيل المستمر ينقص من قدرة العزل بخلاف التشغيل المتقطع .

الجدول رقم 2-14 : درجات الحرارة المسموحة بصفة مستمرة تشغيل ( ْم )

| نوع الكبل | جهد | التشغيل المستمر | | | أقل من 100 ساعة | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Type | ك. ف | روسيا | أمريكا | إنجلترا | روسيا | أمريكا |
| كبلات زيتية | 35<br>110<br>220 | 80<br>70<br>65 | 80<br>70 | 85<br>85<br>80 | 90<br>80<br>75 | 90<br>80 |
| كبلات زيتية في مواسير صلب ذات ضغط | 110<br>220<br>500 | 70<br>65<br>60 | 70<br>70 | | 80<br>75<br>70 | 80<br>80 |
| كبلات غازية | 35<br>110<br>220 | 80 | 80<br>70 | 85<br>85<br>85 | 90 | 90<br>80 |

كما تتحدد درجات الحرارة أيضا بنوعية العزل المستخدم ( الجدول رقم 2-15) ودرجة حرارة القلب المعدني $T_c$ تتوقف علي الفقد في القلب المعدني $P_c$ والمقاومة الحرارية لكلا من العزل $S_{ins}$ والاستخدام $S_s$ والفقد الكلي بالكبل $\Sigma P_k$ ويعتمد بشكل مباشر علي درجة حرارة المحيط الخارجي $T_o$ والتي تتباين مع اليوم وفصول السنة وكذلك المقاومة الحرارية له $S_o$ مع عدم احتساب الفقد في العزل كما نراها في التعبير الرياضي :

الجدول رقم 2-15: درجات الحرارة المسموح بها للتشغيل المستمر في كبلات التوزيع حتى 35 ك. ف (مْ)

| نوعية العزل | مغمور وداف | | | | بوليثيلين | PVC | مطاط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| جهد | حتى 3 | 6 | 10 | -20 30 | 35-1 | 10-1 | 10-1 |
| درجة الحرارة | 80 | 65 | 60 | 50 | 70-80 | 70 | 65 |

$$T_c = S_{ins} + \Sigma P_k \;( S_o + S_s ) + T_o \qquad (2\text{-}61)$$

من هنا نحصل علي الفقد في القلب المعدني $P_c$ وفي الجراب $P_{sh}$ وفي العزل $P_{ins}$ تبعا للمعامل الحراري للقلب $\alpha$ كما يلي :

$$P_c = \rho_c \; I^2/q = \rho_o \;\delta^2 q \;[1+ \alpha ( T_c -20)] = R\, I^2$$

$$P_{sh} = P_c y_{sh} \,,\; P_{ins}=V^2\omega\, C \tan \delta =V^2 \omega \tan \delta\{ 2\pi\, \varepsilon\varepsilon_o/\ln (R/r_o)\} \quad (2\text{–}62)$$

يظهر أيضا (الجدول 2-15 ) تأثير التربة الأرضية من حيث حالتها أو نوعيتها وهي من المعاملات الهامة عند التصميم وبالنسبة للكبلات أحادية القلب نحصل علي المقاومة الحرارية في الشكل :

الجدول رقم 2-16: المواصفات القياسية لمعاملات التربة الأرضية

| الرطوبة | نسبة الرمل (%) | نسبة طمي (%) | القيمة الحرارية النسبية (مْ سم/وات) | السعة الحرارية (جول/جمْم) | الكثافة (جم/سم2) |
|---|---|---|---|---|---|
| شديدة الرطوبة | 9 | 14 | 80 | 2 | 2.8-2 |
| متوسطة الرطوبة | 9-7 | 14-12 | 120 | 0.33 | 1.9 |
| منخفضة الرطوبة | 7-4 | 12-8 | 180 | 0.83 | 1.8 |
| جافة | 4 | | 240 | 0.8 | 1.43 |
| خرسانية | | | 90 | 0.33 | 2.2 |
| أسفلتية | | | 160 | 1.66 | 1 |

$$S_{ins} = \sigma_{ns} / \;\; 2\, \pi \ln (R/r_o)/ 2\, \pi \qquad (2\text{-}63)$$

حيث يتحدد الفقد في العزل لوحدة الأحجام ولشريحة منه بسمك dr فنحصل علي

$$dp = \{ P_{ins} / \ln(R/r_o) \;\}^2 \,(dr/r) \qquad (2\text{-}64)$$

ونتحول إلي معدل التغير الحراري والسريان الحراري عند نصف القطر r بالمعادلة

$$d\, \tau = p_k \; dS_r = P_{ins} \{ \sigma_k \ln(r/r_o) \;/2\, \pi \;\; \ln(R/r_o) \;\} \,(dr/r) \qquad (2\text{-}65)$$

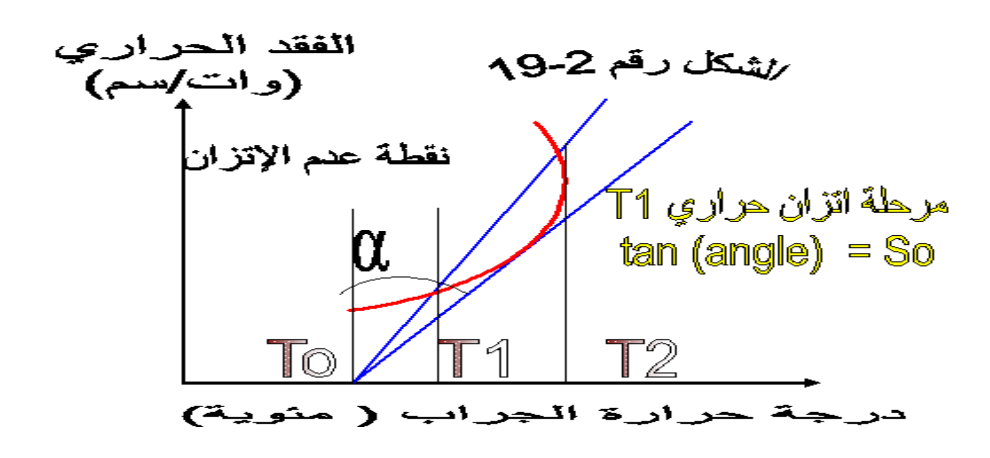
الجدول رقم 2-17: المقاومة النوعية للعزل الكهربي

| الكثافة (جم/سم2) | سعة حرارية (جول/جمْم) | الحرارية النسبية (مْ سم/وات) | المادة |
|---|---|---|---|
| 1.252 | 1.37 | 650-500 | ورق مغمور قبل التركيب (1-10 ك.ف) |
| 1.252 | 1.37 | 550-500 | ورق مغمور قبل التركيب (20-35 ك.ف) |
| 1.252 | 1.37 | 700-600 | ورق مغمور في التشغيل (1-10 ك.ف) |
| 1.252 | 1.37 | 600-550 | ورق مغمور في التشغيل (20-35 ك.ف) |
| - | - | 700-650 | ورق مغمور في كبلات غازية |
| 1.365-1.252 | 1.37 | 500-450 | ورق عزل كبلات زيتية |
| 0.95 | 2.3<br>3.7 | 400-300 | بولي اثيلين 20ْم<br>بولي اثيلين 80ْم |
| 1.25 | 1.6 | 700-600 | بي في سي |
| 1.4 | 1.6-1.4 | 700-500 | مطاط |
| - | - | 600-550 | قطن نسيج |
| - | - | 300 | قطن نسيج مع شرائط تسليح |
| 0.5 | 1.33 | - | نسيج قطني غير مغمور |
| 8.8 | 0.378 | 0.27 | نحاس |
| 2.7 | 0.92 | 0.48 | ألومونيوم |
| 11.34 | 0.123 | 2.9 | رصاص |
| 7.8 | 0.46-0.11 | 1.23-1.44 | صلب |
| 0.9 | 1.66 | 900 | زيوت معدنية |

وبالتالي نصل إلي حساب الفرق بين درجة الحرارة للقلب المعدني والجراب في الصورة النهائية

$$= (\sigma/2\pi)\,(P_{ins}/2)\,\ln(R/r_o) = S_k\,P_{ins}/2 \qquad (2\text{-}66)$$

ويبين أن المقاومة الحرارية النوعية للعزل تختلف تبعا لنوع المادة المستخدمة كما هو موضح في الجدول رقم 2-17 . الاتزان الحراري ضروري لضمان سلامة الكبل أثناء التشغيل ويقدم الشكل رقم 2-19 العلاقة بين حرارة الجراب والفقد الحراري في العزل وهو يتغير أسيا وكلما ارتفع الجهد زادت نسبة الانهيار الحراري بحدة ويتحدد الاتزان الحراري من خلال المنحنيات المعطاة في الشكل ، ويحدث الانهيار الحراري للأسباب التالية :



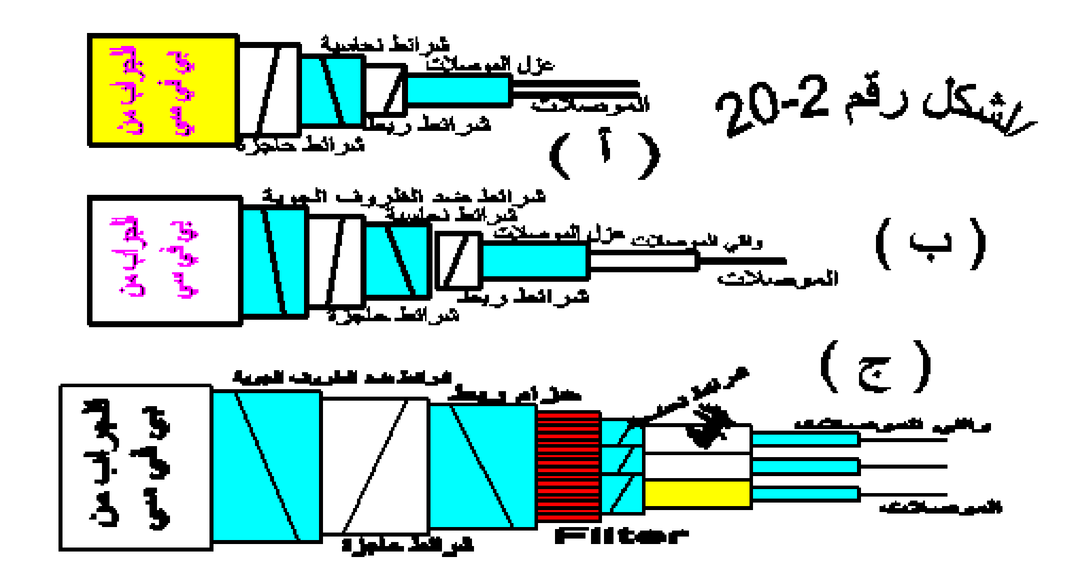
1- زيادة المقاومة الحرارية الخارجية عن القيمة المصمم عليها الكبل
2- ارتفاع درجة حرارة الجو والوسط المحيط
3- زيادة الحمل الكهربي بالقدر المسبب ارتفاع درجة الحرارة

أما عن الكبلات خفيفة التيار والتي عادة لا تتأثر بدرجة الحرارة مثل كبلات القوي فنجد الجدول رقم 2-18 يوضح مقننات بعض هذه الكبلات للتيار الخفيف بينما أدرج الجدول رقم 2-19 المواصفات الفنية الخاصة بكبلات الاتصالات والتحكم الآلي وهي متعددة الأزواج.

الجدول رقم 2-18 : بيان بكبلات تيار خفيف عزل بوليثيلين وجراب PVC

| البيان | عزل بجراب | كبلات تحكم أقل من 1 أ |
|---|---|---|
| أدنى مقاومة عزل (ميجا أوم كم ) | 1000 | 50 |
| جهد احتبار متردد دقيقة (ك. ف.) | 1 | 2 |
| أقل قوة شد للعزل/ الجراب (كجم/مم2)عند حرارة عادية<br>نسبة التقادم (%) | 1/1<br>85/80 | 1/1<br>85/85 |
| أقل استطالة للعزل 90°م لمدة 96 س / الجراب 100°م لمدة 48 س (كجم/مم2)<br>نسبة التقادم (%) | 100/300<br>80/60 | 120/100<br>80/80 |
| أدنى مقاومة للزيت بالجراب 70°م (الشد / استطالة %) | 60/80 | 60/80 |
| التوهين الحراري (أقصى تضاؤل سمك عند 120°م (%) | 50 | 50 |
| اختبار الجراب لصدمة باردة (-15°م) | بدون خدش | بلا خدش |

في هذه النوعية تجمع الضفائر في شكل دائري على الطبقات المتتالية الداخلية ويجب ألا يقل سمك الجراب عن 85 % من القيمة المقننة بالنسبة للجراب الخارجي ويلزم ترتيب الأزواج تبعا للألوان فيها ، أما عن نقل وتخزين الكبلات فيكون علي بكرات خشبية غير قابلة للدوران مغطاة ضد الظواهر الجوية والطبيعية أثناء التخزين والنقل والتركيب كما يلزم تحديد البيانات الأساسية مثل: ( مقنن الكبل – طول – الوزن – المصنع – العلامة التجارية – اتجاه السحب – أية بيانات أخرى) ويوضح الشكل رقم 2-20 الشكل العام لهذه النوعية من الكبلات ، فالشكل (أ) يرض قطاعا طوليا بكبل أحادي القلب من النوع العادي ولكن لتقويته ضد الظروف المناخية والأرضية يضاف إليه طبقة من الشرائط النحاسية الواقية له كما في الشكل (ب) ونفس الشكل ولكنه للكبل ثلاثي القلب في الشكل (ج) .



**الجدول رقم 2-19 : المواصفات الفنية بكبلات الاتصالات والتحكم متعددة الأزواج**

| عدد الأزواج | 1 | 3 | 14 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| توزيع الطبقات<br>(بالمركز)<br>طبقة أولي<br>طبقة ثانية<br>طبقة ثالثة<br>طبقة رابعة | 1 | -<br>3 | -<br>4<br>10 | -<br>2<br>6<br>12 | -<br>4<br>10<br>16 | -<br>2<br>7<br>12<br>19 |
| ضفائر (عدد/مم)<br>قطر (مم) | 0.49/7<br>1.47 | 0.49/7<br>1.47 | 0.49/7<br>1.47 | 0.49/7<br>1.47 | 0.49/7<br>1.47 | 0.49/7<br>1.47 |
| سمك عزل (مم)<br>سمك شرائط الوقاية<br>(مم)<br>سمك الجراب (مم)<br>القطر الكلي (مم) | 0.6<br>0.1<br>1.5<br>9.7 | 0.6<br>0.1<br>1.5<br>13.5 | 0.6<br>0.1<br>1.6<br>23 | 0.8<br>0.1<br>2<br>33 | 0.8<br>0.1<br>2.2<br>38 | 0.8<br>0.1<br>2.4<br>45 |
| أقصى مقاومة للموصل<br>(أوم/كم) | 13.9 | 13.9 | 13.9 | 13.9 | 13.9 | 13.9 |
| وزن الكبل (كجم/كم) | 110 | 220 | 700 | 1240 | 1720 | 2270 |
| الطول القياسي (م) | 500 | 500 | 500 | 300 | 300 | 300 |

## ثالثا : اختبار الكبلات Cable Testing

**الاختبارات هي المقياس الهندسي السليم لتحديد صلاحية الكبل للتشغيل ويقدم الجدول رقم 2-20 الاختبارات الأساسية اللازمة لاختبار الكبلات جهد 10 ك. ف. وهي تتبع المواصفات القياسية وتبعا لعدد العينات اللازمة للاختبار ( الجدول 2- 21) أما الجدول رقم 2-22 يجدول بيانات الكبلات أحادية القلب والمستخدمة في شبكات التوزيع طبقا للمواصفات القياسية الدولية IEC بينما يقدم الجدول رقم 2-23 تلك البيانات للكبلات ثلاثية القلب .**

**الجدول رقم 2-20 : الاختبارات الأساسية اللازمة لاختبار الكبلات جهد 10 ك. ف.**

| اختبارات روتينية | القيمة | اختبارات خاصة | القيمة |
|---|---|---|---|
| جهد اختبار 5 ق ( ك. ف.) | 15 | جهد 4 س (ك. ف.) | 18 |
| أقصى تفريغ جزئي عند 7.5 ك. ف. ( pc) | 20 | اختبار سخونة 200ْم | - |
| اختبار الشكل العام ( كل تشغيلة) | لا يزيد عن 10 % من إجمالي أطوال العقد | أقصى استطالة للتحميل الكهربي | % 175 |
| | | أقصي استطالة مستديمة بعد التبريد | % 15 |
| | | أقل استطالة بالتبريد (-15ْم) | % 20 |
| | | اختبار مفاجئ (-15ْم) | لا شقوق بنسبة 6/5 |

**بالنسبة للاختبارات التي تخص الكبلات الكهربية فهي متعددة وتشمل الاختبارات الكيميائية والحرارية والفيزيائية وكذلك الكهربائية وتلك الأخيرة سوف نسرد أنواعها اختصارا في السطور القادمة حيث أنها تنقسم إلي نوعين هما :**

## النوع الأول : اختبارات الإنتاج Production Tests

**وهي التي تتم في المصنع أثناء عمليات الإنتاج وبالتالي تتم بعد كل مرحلة تصنيع لها وهي تهم المصنع وليس المستخدم أو القائم علي التركيب .**

الجدول 2-21 : عدد العينات المطلوبة لاختبار الكبلات 10 ك. ف. بالمواصفات الدولية IEC تبعا لقيمة الأطوال الأساسية اللازمة

| طول الكبل (كم) | عدد العينات المطلوبة |
|---|---|
| 1 – 0 | لا اختبار |
| 20 – 4 | 1 |
| 40 – 20 | 2 |
| 60 - 40 | 3 |

## النوع الثاني : اختبارات تأكيد Control Tests

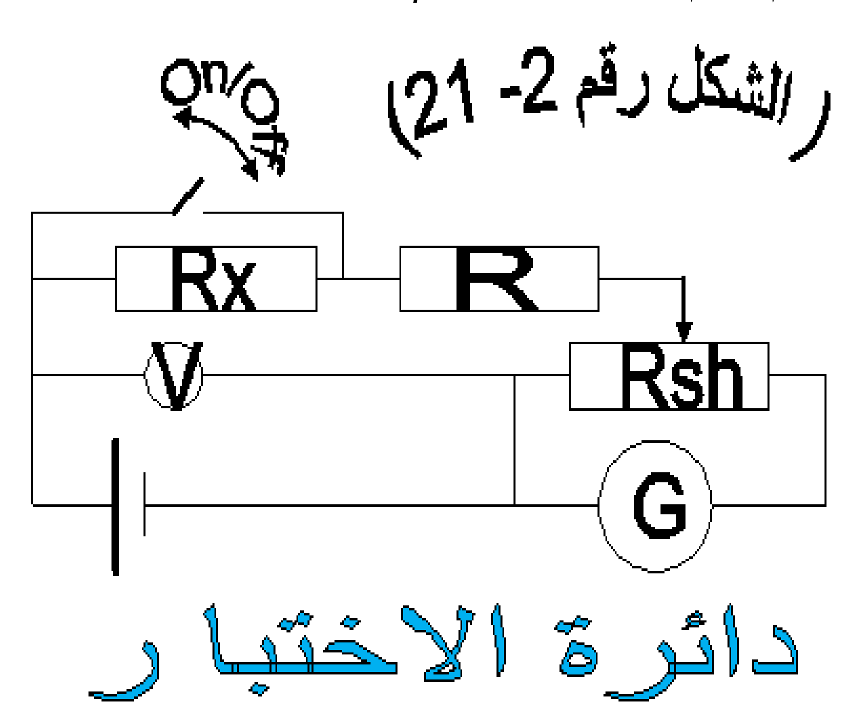
والتي بدورها تتعدد إلي نوعين هما :

### أولا : اختبارات دائمة وتتم بصفة دورية Current Tests
### ثانيا : اختبارات بالعينة Sample Tests

وهي ما تتم علي بعض العينات لأنها تدمر العينة وتصبح غير صالحة للاستخدام وتتبع المواصفات القياسية أيضا . ومن أهم القياسات التي نحتاج إليها بالنسبة للتشغيل والصيانة تظهر أجزائه والتي نتناولها فيما يلي:

### 1- معاملات القلب المعدني Core Parameters

قياس قيمة المقاومة الكهربية $r_c$ : نستخدم هنا قنطرة كهربية إما مفردة أو مزدوجة لقياس المقاومة لطول ما بقدر $l$ متر ومقطع قدره S مم2 أو لوحدة الأطوال منه كعينة وهي تتراوح بين 0.0001 – 100 أو م ويؤخذ في الاعتبار المعامل النوعي الحراري $\alpha$ وتحسب عند درجة حرارة محددة قدرها t حيث تقاس المقاومة الكبيرة بالقنطرة المفردة وعموما تعمل دائرة الاختبار ( الشكل رقم 2- 21) بالحدود القياسية وهي مستوى الدقة عالي ولا يقل عن 1.0 بحساسية جلفانومتر تحت 1.5 % وانحراف لا يقل عن 1 مم وبحيث الا يزيد مجموع المقاومات لكل التوصيلات بالدائرة عن 0.02 أوم ومن ثم تقاس المقاومة النوعية $\rho$ بالمعادلة :



الجدول رقم 2-22 : البيانات الأساسية للكبلات أحادية القلب جهد التوزيع

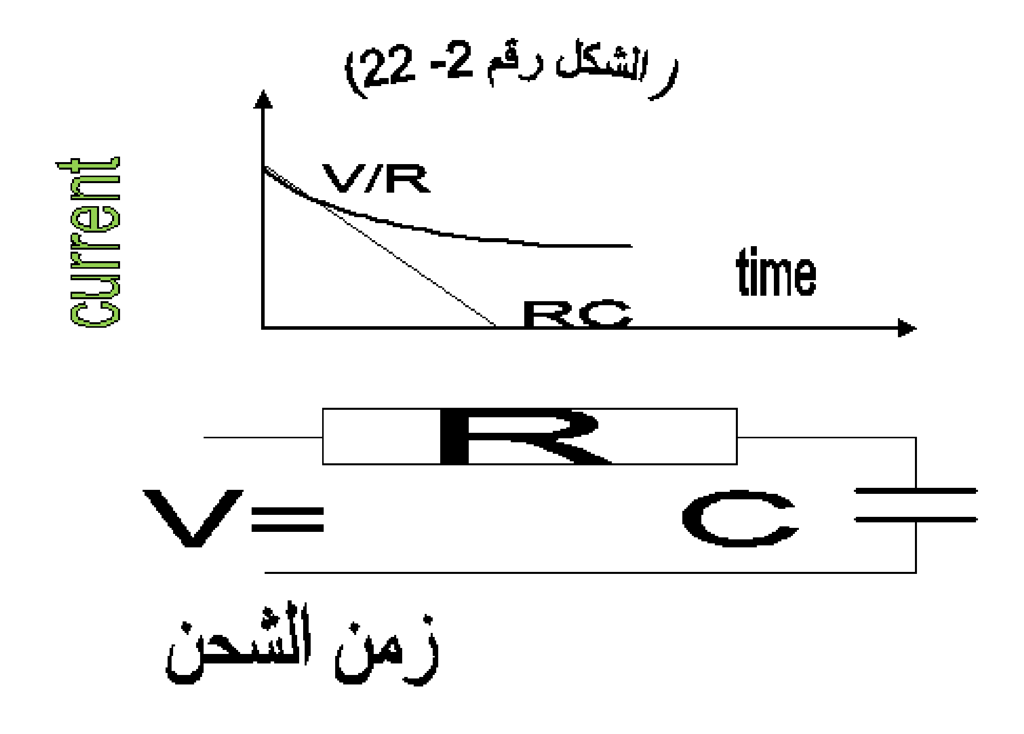
| مقطع (مم2)/ عدد ضفائر | قطر القلب الخارجي (مم) | سمك العزل (مم) | سمك الجراب (مم) | القطر الكلي (مم) | أقصى مقاومة DC (أوم/كم) | وزن الكبل (كجم/كم) | طول اللفة (م) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19/70 | 9.9 | 3.4 | 1.7 | 23 | 0.268 | 1050 | 300 |
| 19/95 | 11.7 | | 1.7 | 25 | 0.193 | 1300 | 200 |
| 37/120 | 13.2 | | 1.8 | 27 | 0.153 | 1600 | 200 |
| 37/150 | 14.6 | | 1.8 | 28 | 0.124 | 1900 | 200 |
| 37/185 | 16.3 | | 1.9 | 30 | 0.0991 | 2300 | 200 |
| 61/240 | 18.7 | | 2 | 33 | 0.0754 | 2850 | 150 |
| 61/300 | 20.9 | | 2 | 35 | 0.0601 | 3500 | 150 |
| 61/400 | 6 .23 | | 2.1 | 38 | 0.047 | 4350 | 150 |
| 91/800 | 35.1 | | 2.5 | 50 | 0.0221 | 8800 | 150 |
| 127/1000 | 39.9 | | 2.6 | 55 | 0.0176 | 11000 | 150 |

$$\rho = (r_c \; S) / \{ [1 + \alpha (t - 20)] \, l \} \qquad (2\text{-}67)$$

ويجب تمرير التيار في اتجاهين معكوسين أو عكس اتجاه الكبل والحصول علي القيمة المتوسطة average للقراءتين

## 2- قياس معاملات العزل Insulation Parameters

تنحصر معاملات العزل في ثلاث قيم هي المقاومة $R_x$ والسعة C ε وزاوية الفقد tan δ تعطي الدائرة بالشكل2-22 خطوات العمل حيث يغلق المفتاح مع انتظار دقيقة علي الأقل ثم قراءة انحراف الجلفانومتر بقيمة $\alpha_{st}$ والحصول علي رقم التوازي $N_{st}$ وهي تعبر عن المقاومة القياسية بالدائرة ويكون التيار قيمته هي :



$$I_{st} = A \quad \alpha_{st} \quad N_{st} \qquad (2\text{-}68)$$

ثم يفتح المفتاح وتؤخذ القراءتين $\alpha_x$ ، $N_x$ مرة أخرى ويصبح التيار بالقيمة

$$I_x = A \quad \alpha_x \quad N_x \qquad (2\text{-}69)$$

والنسبة بين التيارين تأخذ الصيغة

$$I_{st} / I_x = \alpha_{st} \quad N_{st} / \alpha_x \quad N_x \qquad (2\text{-}70)$$

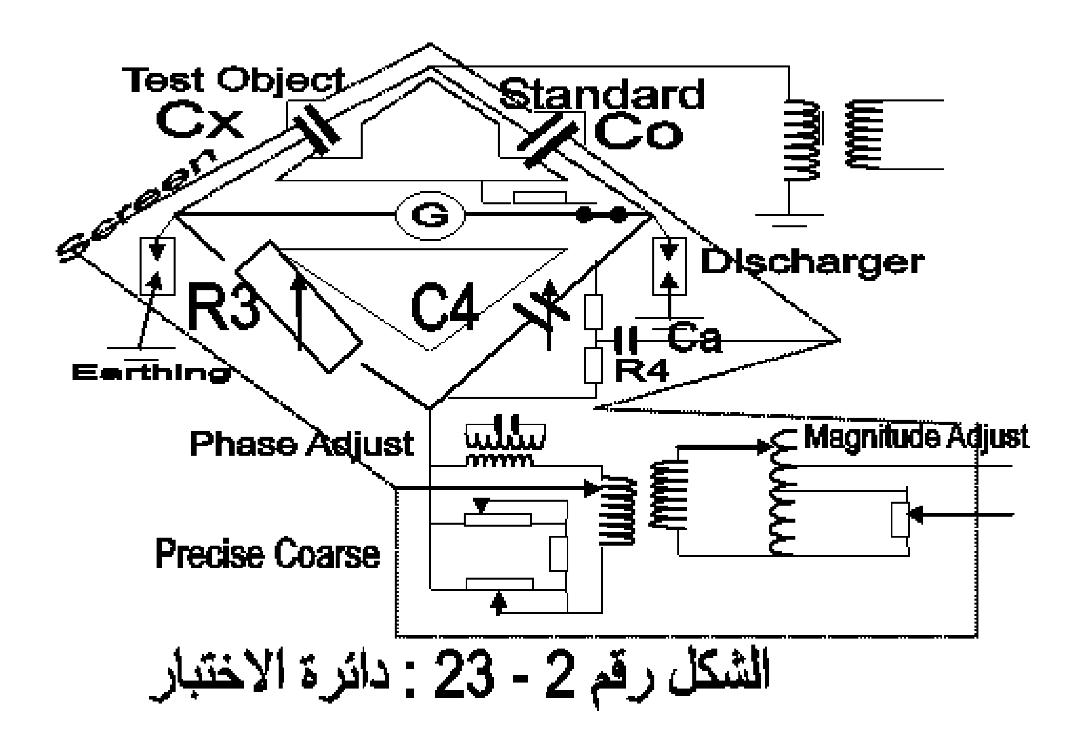
ونعبر بعد ذلك عن المقاومة بالصيغة

$$R_x = R\,(1 - I_{st}/I_x) = R\,(1 - \alpha_{st} \quad N_{st} / \alpha_x \quad N_x) \qquad (2\text{-}71)$$

عند $\alpha_{st} \; N_{st} >> \alpha_x \; N_x$ مما يعني إمكانية إهمال الوحدة ا لصحيحة فنحصل علي

$$R_x / R = \alpha_{st} \quad N_{st} / \alpha_x \quad N_x \qquad (2\text{-}72)$$

تؤخذ قراءة الجلفانومتر بعد دقيقة من قفل الدائرة (الشكل رقم 2-23) لتواجد السعة C والمقاومة R وصولا إلي الاستقرار الكهربي نتيجة تيار الشحن $I_{ch}$ والذي يظهر عند الجهد V مع التيار المستمر




الشكل رقم 2 - 23 : دائرة الاختبار

$$I_{ch} = V / R \; e^{-t/RC} \qquad (2\text{-}73)$$

كما يجب أن تختبر الكبلات ذات العزل المطاطي أو البلاستيك بعد وضعها في وعاء مائي وتكون مغمورة بالكامل كي تقاس مقاومة العزل القلب والماء (الأرض) ويمكن الاستعانة بالميجر لقياس المقاومة $R_{60}/R_{15}$ لتحديد المقاومة والتي تبلغ $10^{12}$ أوم مع الأخذ في الاعتبار أن الميجر يعطي خطأ يصل إلي 20 % وهو عالي

## 3 - السعة Capacitance

تستخدم طريقة المقارنة **Comparison Method** بمكثف قياسي **Standard Capacitance** محدد القيمة من قبل وهو دائما بقيمة 0.1 ميكروفاراد حيث تشحن الدائرة مع التيار المستمر ويبدأ قياس القيم تبعا لما سبق شرحه بالنسبة للمقاومة ونعتبر أن الجهد ثابت ولم يتغير في الحالتين مع إدخال رمز السعة بدلا من المقاومة ونحصل علي العلاقة :

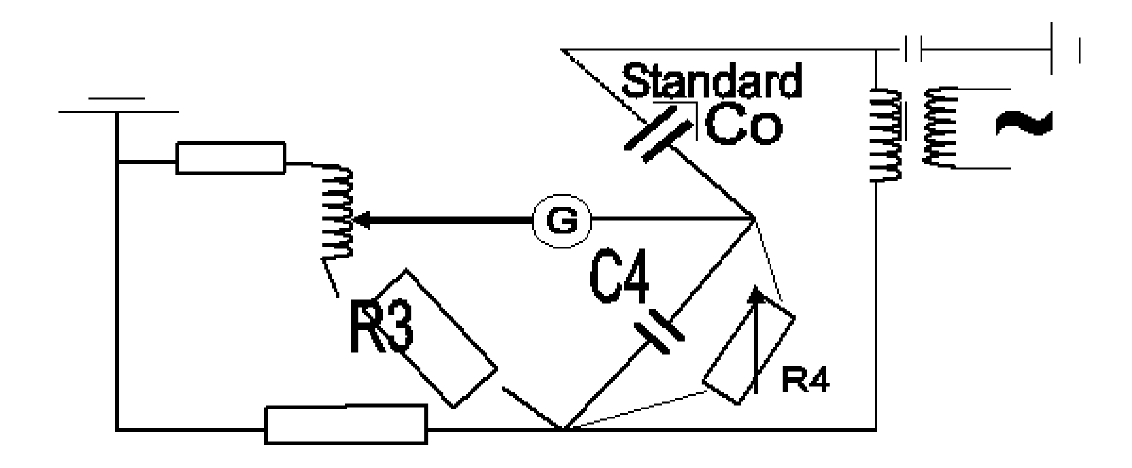
$$C_x/C_{st} = \alpha_x\ N_x / \alpha_{st}\ N_{st} \qquad (2\text{-}74)$$

منها نصل إلي قيمة السعة المطلوبة لطول من الكابل *l* كم وهي

$$C_x = C_{st}\,[\alpha_x\ N_x / \alpha_{st}\ N_{st}]/\,l \qquad (2\text{-}75)$$

## 4 - زاوية الفقد Loss Angle

تمثل الدائرة البسيطة (القنطرة) والمعطاة في الشكل رقم2-24 الاختبار اللازم لقياس زاوية العزل وهو من أهم أنواع الاختبارات ومن الشكل يجب أن تضبط قيمة المقاومة $R_3$ والسعة $C_4$ كي يشير مؤشر الجلفانومتر إلي الصفر أي بدون انحراف **Deflection** عند الذبذبة **f** وبهذا نحصل علي السعة وزاوية الفقد في حالة الاتزان بالصيغة :




الشكل 2 - 24 : دائرة الاختبار بالقنطرة

$$\tan\delta = 2\,\pi\, f\, C_4\, R_4 \qquad \& \qquad C_x = \{C_o\, R_4 / R_3)\}[1 / (1 + \tan^2\delta)]$$

كما أنه من المعروف أن قيمة زاوية الفقد $\tan \delta$ عادة تقل عن 0.1 وبالتالي المربع لها يكون أقل من 0.01 ومن ثم تصبح القيمة $1 + \tan^2 \delta$ مساوية للوحدة أيضا علي وجه التقريب فتكون السعة المطلوبة هي

$$C_x = \{ C_o \; R_4 / R_3 )\} \qquad (2\text{-}76)$$

من الجهة الأخرى المقاومة لها قيمة قياسية نختارها دائما كي نحصل علي أبسط تعبير عن الزاوية هي ($\pi$ /10000 ) أوم فنحصل علي زاوية الفقد بدلالة السعة بوحدات الميكروفاراد في الصورة :

$$\tan \delta = C_4$$

تصلح هذه الدائرة لاختبار كلا من الكبل وملفات المحولات ، ويستخدم أيضا المكبرات الإلكترونية للعينات الصغيرة حيث تنخفض حساسية القنطرة بشدة مع انخفاض الجهد وسعة العينة فيتم تصميم دائرة المكبر كي تمنع الشوشرة والتداخل مع أجهزة القياس عندما يتولد مجال كهرومغناطيسي أثناء عملية الاختبار فتصبح القراءة أكثر دقة فنحتاج إلي الجهد والذبذبة المستقران ويجب أن تختفي أشكال التوهين distorsion من موجة الجهد ولهذا يتم تغذية المحول من مجموعة محرك / مولد مخصوص ويتم التحكم في الجهد من خلال المهيج ولهذا يلزم التأكد المستمر من اتزان الدائرة وعادة ما يكون الخطأ في السعة أقل من 0.5 % وللزاوية أقل من 1.5 % .

بالنسبة لعزل ملفات محولات الجهد العالي واختبارها مع الأرض فتكون السعة المختبرة هي :

$$C_{xo} = C_x + C_{ex}$$

يمكن الحصول علي زاوية الفقد الخارجي من الزاوية $\tan \delta_{ex}$ بالاستعانة بالمعادلة

$$\tan \delta = \{ C_{xo} \tan \delta_{xo} - C_{ex} \tan \delta_{ex} \} / [C_{xo} - C_{ex} ] \qquad (2\text{-}77)$$

أخيرا نحتاج بالضرورة إلي اختبار الكبل مع درجة الحرارة المرتفعة لنرى تأثير درجة الحرارة Heat Effect على العزل وفيه تقلل المقاومة R من تأثير الملفات الثانوية للمحول المستخدم للتسخين وهذه الدائرة يجب أن تكون محاطة بشبكة مؤرضة تماما Screened وهو المولد الحراري للعزل حيث يتم الاختبار عند درجة حرارة 50 أو 70 حسب المواصفات .

الجدول رقم 2-23: البيانات الأساسية لكبلات ثلاثية بجهد التوزيع

| مقطع(مم 2)/عدد ضفائر | قطر القلب (مم) | سمك عزل (مم) | سمك جراب (مم) | قطر كلي (مم) | أقصى مقاومة (أوم/كم) | فوزن (كجم/كم) | طول اللفة (م) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19/70 | 9.9 | 3.4 | 2.5 | 47 | 0.268 | 3400 | 300 |
| 19/95 | 11.7 | | 2.6 | 51 | 0.193 | 4300 | 300 |
| 37/120 | 13.2 | | 2.7 | 56 | 0.153 | 5300 | 200 |
| 37/150 | 14.6 | | 2.8 | 59 | 0.124 | 6200 | 200 |
| 37/185 | 16.3 | | 2.9 | 63 | 0.0991 | 7400 | 200 |
| 61/240 | 18.7 | | 3.1 | 69 | 0.0754 | 9300 | 150 |
| 61/300 | 20.9 | | 3.3 | 74 | 0.0601 | 11300 | 150 |
| 61/400 | 23.6 | | 3.5 | 80 | 0.047 | 14000 | 150 |

أهم أعمال الصيانة تتبع نتائج الاختبار علي جميع مستويات الجهد أما عن الكبلات ثلاثية القلب والمستخدمة أيضا في التوزيع الكهربي فنجد المقننات الجوهرية لها قد جدولت في الجدول رقم 2-23 وتأتي تفاصيل القطاع الداخلي لهذه النوعية في الشكل رقم 2-21 .

## ثالثا : صيانة الكبلات الزيتية

صيانة الكبلات الكهربائية من أول الأعمال الهندسية التي تحتاج إلي الرعاية الفنية ونأخذ هنا الكبلات الزيتية مثالا لتوضيح العمل في الصيانة وكيفية التعامل معها عموما ونضعها في عدة محاور نفصلها في السطور القادمة :

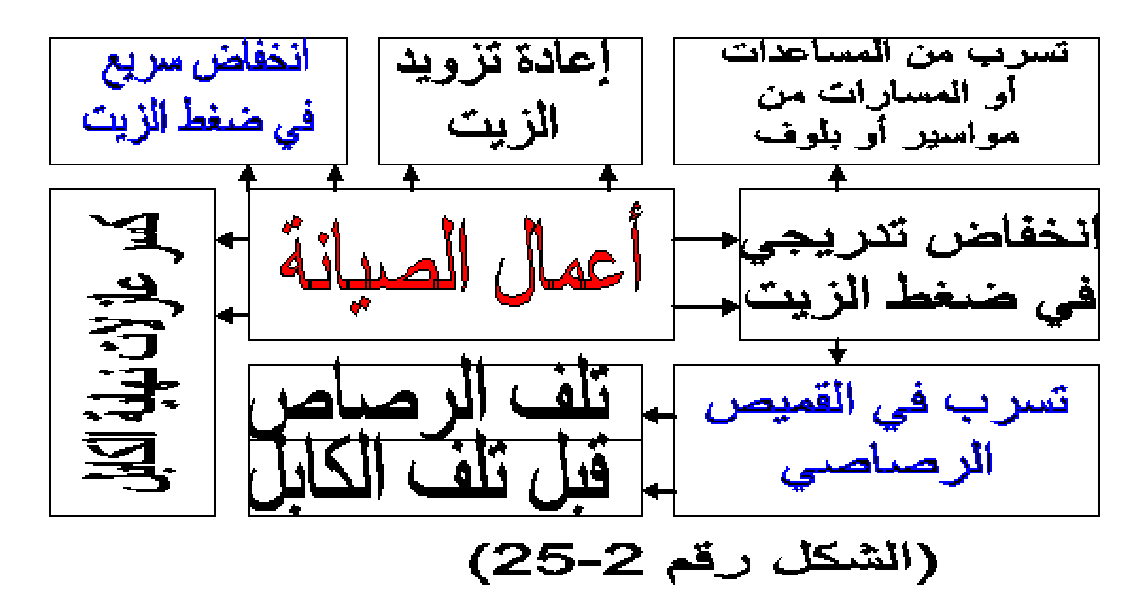
### المحور الأول : مبادئ الصيانة

تعتبر الكبلات الزيتية من أهم أنواع الكبلات لأنها متناولة في أيدي المارة عابرين وعاملين في الشوارع والأراضي الفضاء ولهذا نأخذ وضعا أوليا في العمل بها أو عند الاقتراب منها ويلزم اتباع قواعد الأمن الصناعي في هذا الشأن وأهمها :

1- الوقاية من أخطاء الغير حيث يلزم عمل لوحات رسم تنفيذية ( طبقا للواقع as built drawings ) ثلاثية الأبعاد وتسليمها لجهات الاختصاص وتلك المعنية .
2- المتابعة الجيدة وهي بارة عن تفتيش هندسي وتحليل القراءات الفنية الدورية وبيانات الأحمال ومتابعة حالة دوائر الفصل التلقائي والبطاريات المغذية لها واختبار أجهزة القياس للتأكد من سلامتها .
3- الصيانة الدورية وهي هامة لعلاج القصور وتلافي العيوب .
4- أعمال الصيانة الشاملة ويقدم الشكل رقم 2-25 التصنيف العام لأعمال الصيانة بالنسبة للكبلات الزيتية.

### المحور الثاني : نوعيات الصيانة

مستوي الزيت بالكبل يكون أعلي من 0.3 كجم/سم2 ومنع ضخ الزيت بالكبل إلا بالأسلوب الهندسي السليم لمنع دخول الهواء إلي داخل الزيت, كما تستخدم دوائر ثانوية تعمل بالتيار المستمر لتحديد مستوى الضغط والزيت في كل خزان علي طول المسار. مع ضرورة الاعتماد علي الوصلات الفنية اللازمة لحماية نهايات الكبل من التأثيرات الميكانيكية المختلفة ، وهو ما يجب مراعاته عند وصل الكبلات ، ونضع الحالات الرئيسية لمفهوم هذه الأعمال في السطور القادمة .

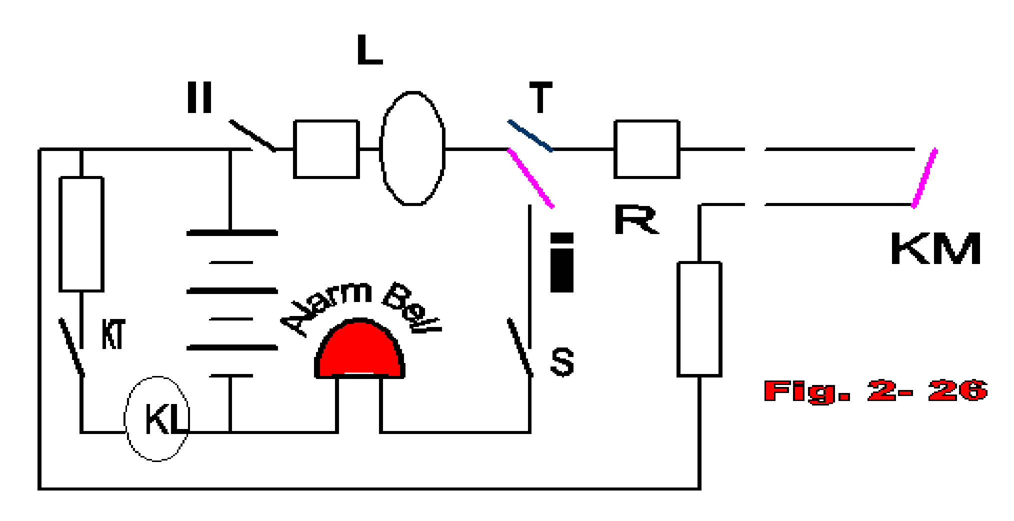



(الشكل رقم 2-25)

### 1- دوائر الإنذار بالخلل في ضغط الزيت

يقوم الزيت تحت الضغط العالي كعزل عالي المستوى وأي تقليل في قيمة الضغط يؤثر بشدة علي هذا المستوى ومن ثم يجب القياس المستمر للضغط مع الاشارة التلقائية بمجرد الاقتراب من حدود الخطر وتعمل هذه الدوائر بجهد 48 ف

مستمر قدرة 20 ملي أمبير ويتم التوصيل من خلال كبلات التحكم تبعا لطول مسافة الكبل ( جدول رقم 2-24) تمثل الدائرة الحالة المعتادة في التشغيل فتكون دائرة الجرس مفتوحة بينما المبين مضيئا أما م الخطأ يضئ المبين من خلال المفتاح والوصلة تبر عن مانومتر لقياس الضغط والذي يعطي الأمر إلي المتمم كي يعمل ، ومنعا للتداخل مع الدوائر المتجاورة يتم الاستعانة بالكبلات المحورية ويتم حماية الدائرة ضد التسرب الأرضي كما نشير إلي أن التحميل الزائد يؤدي إلي رفع ضغط الزيت أعلي القيمة الأقصى نتيجة التمدد الطبيعي في حجم الزيت ويمثل لـه حد يجب ألا يزيد عنه بل ويجب الإنذار عنه (ألشكل رقم 2-26).




الجدول رقم 2-24 : بيان بقطر الموصل تبعا لطول الكبل

| قطر السلك (مم) | أقصى مسافة للكبل (كم) |
|---|---|
| 0,6 | 6 |
| 0.8 | 10 |
| 0.9 | 14 |

## 2- حالة كسر في العازل بنهاية الكبل

تعتبر حالة غير خطيرة ولكن من الأفضل التغيير السريع للعزل المكسور .

## 3- انخفاض مفاجئ في ضغط الزيت

يلزم التأكد من سلامة أجهزة القياس مثل المانومتر وفصل التيار الكهربي عن الكبل وعزل الخزانات إذا كان هناك تسريب سريع للزيت من الكبل ويجب اختبار الزيت للكسر الكهربي .

## 4- تزويد الكبل بالزيت

عند انخفاض الزيت في الخزان يلزم تزويد الكبل بالزيت ولكن لها من الشروط الفنية والهندسية العديدة والهامة للحفاظ علي مستوى العزل داخل الكبل وهو ما يمكن أن يتم من خلال الضخ إلي الخزان الاحتياطي أو الضخ المباشر إلي الكبل .

## 5- التسرب التدريجي للزيت في الكبل

هذه الحالـة تعطـي احتمـالان : أن يكـون التسـريب مـن المسـاعدات أو المواسـير والمحـابس ( البلـوف) أو مـن القمـيص الرصاصي ويجب أن يختفي التسريب وعودة ضغط الزيت إلي المقتن.

## 5-2 : القواطع الكهربية *Circuit Breakers*

تلعب القواطع الكهربية في شبكات التوزيع الكهربي الدور الهام لحماية المعدات والأجهزة العاملة علي أطرافها بجانب الكبلات الناقلة للتيار بين الأطراف المختلفة ، ولذلك تحظى القواطع الكهربية بالاهتمام البالغ ولذلك نستعرض موضوع القواطع الكهربية لجهد التوزيع والاستغلال 380 / 220 ف في عدة محاور كما يلي في السطور القادمة حيث تعتمد هذه القواطع 380 / 220 ف علي المواصفات القياسية والتي تحدد المقننات المختلفة لها من جهد وتيار بأنواعها المتعددة لما تقوم به هذه القواطع من عمل هام حيث لها من الفوائد ما يلي :

1- إتاحة الفرصة لعمليات التوصيل والفصل لأي جزء من الشبكة دون التأثير علي البقية منها

2- التخلص من التأثير الحراري عند ظهوره وذلك بفصل الجزء مرتفع الحرارة عن التشغيل

3- السماح بإجراء أعمال الصيانة لكل جزء علي حدة

4- الحفاظ علي القياسات ودقتها بالمساهمة في تقليل المجالات الكهرومغناطيسية أثناء القصر

5- إمكان تقليل تيارات القصر بمحددات التيار معها **Current Limiter** أو بتقنية القطع الدائري المزدوج حيث السرعة الفائقة لتباعد الملامسات تقليلا لزمن الفصل وبسرعة تعلو عن معدل ارتفاع مقدمة الموجة الفجائية للجهد فتزيد من كفاءة القاطع وقدرته لقطع التيار .

6- الفصل عند ظهور التسرب الأرضي للتيار **Earth Leakage Current** وهو ما قد يضر بالعاملين والمستهلكين والمشغلين لهذه الدوائر وخصوصا في مدارس الأطفال ورياض الأطفال وهذا التسرب للتيار نحو الأرض يعني أحد الحالات التالية :

ا) عدم اتزان جهد الشبكة الكهربية .

ب) تلامس أحد الأسلاك الحاملة للتيار مع جسم المعدة أو الجهاز من خلال مقاومة ما .

Fig. 2- 27



ج) عدم تأريض جسم الأجهزة والمعدات العاملة تحت جهد كهربي .
د) ضعف العزل الكهربي داخل المعدة والاقتراب من الانهيار الكهربي الكامل .

مما يلزم معه فصل الجهاز عن الشبكة حماية للأفراد ويتم ذلك آليا تبعا لنظام توصيل شبكة التوزيع بالموقع مع نقطة التعادل وهي المدرجة بالمواصفات القياسية الدولية ويعتمد هذا المتمم الملحق علي خط التعادل في التوصيل الثلاثي علي درجة الحساسية للتيار المتسرب وهو مقنن بالقيمة 0.03 أو 0.3 أو 25 أ مع الفصل الفوري أو 0.03 – 25 أ مع الفصل الفوري أو بتأخير زمني مقداره يتغير حتى( 0 – 1 ) ث ويخصص هذا النوع لحالات المحركات مثل الورش المدرسية وله أيضا الملف الحلقي المعروف باسم Closed Turoides بقطر 30 ، 50 ، 80 ، 120 و 200 مم .

7- السماح بالارتفاع الحراري لمدة محددة نتيجة زيادة التيار فوق المقنن .

وتنحصر هذه القواطع عموما في مستويين تبعا للمواصفات القياسية هما :

المستوى الأول : فئة A

يعبر هذا المستوى عن فتح الدائرة الكهربية فورا بدون أي تمييز زمني

المستوى الثاني : الفئة B

هنا يدخل في الاعتبار التمييز الزمني للفصل Time Discrimination أي التأخير لبدء عملية الفصل وعلي الجانب الآخر تنحصر القواطع منخفضة الجهد ( 380 / 220 ف ) بهذين المستويين في ستة أنواع مختلفة هي :

## 1- مفتاح فاصل كهربي switch

هو هوائي الطابع وللتيارات الصغيرة كما هي المفاتيح المستخدمة في المنازل والمدارس والمعامل لغرض الإنارة طالما كان التيار صغيرا ولا يحتاج إلي تدخل تقني للتخلص منه أثناء عملية الفصل ، وتقع هذه النوعية في المقننات لأقل من 1-2 أمبير ، ومع ذلك فلها المقننات الأساسية من حيث جهد التشغيل المقنن وتيار القطع الأقصى ( سعة القطع Rupture Capacity ) وهي عادة وحيدة الأقطاب Single Pole لأنها تستخدم للوجه المفرد ويجب أن يتم تركيبها علي الوجه Life Wire في بداية التوصيل من جهة التغذية وليس علي سلك التعادل Neutral Wire .

## 2- سكينة فصل Isolator

تمثل العازل الكهربي بين الدائرة ذات الجهد وبقية أجزاء الدائرة البعيدة عن الجهد أي علي الطرف الثاني من السكينة وتستخدم هذه النوعية في المصانع والورش لما لها من مميزات تنحصر في إمكانية الفصل للتيار والجهد عن الورشة فور الانتهاء من العمل ويقدم الشكل رقم 2 - 27 مثالا لها ويكون محور حركة أطراف التوصيل إلي أسفل كقاعدة أمان للمتعاملين مع الدوائر الكهربية بها .

## 3- قاطع كهربي بسيط Simple Breaker

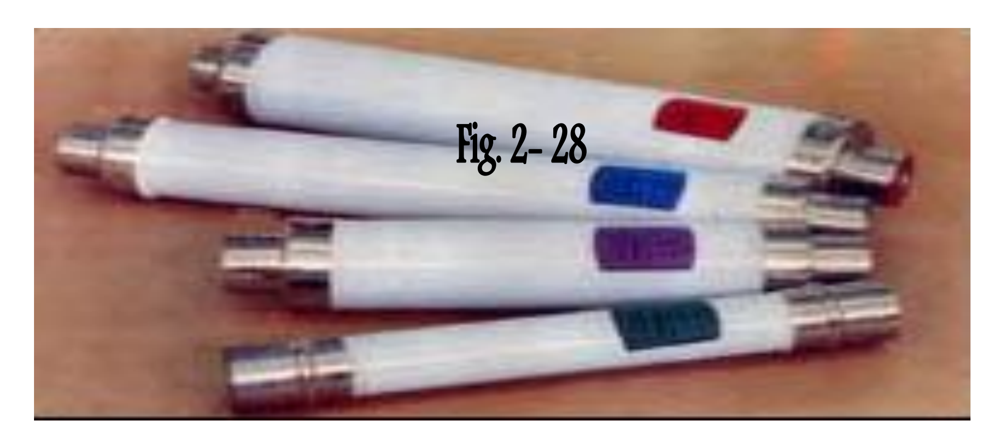
يمثل القاطع الكهربي الذي يؤدي عملية الفصل للدائرة ذات المقنن الصغير من التيار وهي تقطع التيار تبعا للنظريات الخاصة بقطع الشرارة الكهربية ولكنه للمقننات الصغيرة والتي قد لا تتعدى عدة عشرات من الأمبير ويصلح لكل من التيار المستمر والمتردد .

## 4- قاطع كهربي مزود بأداء وظيفة سكينة الفصل Compact Breaker

يتكون من البندين السابقين معا في معدة واحدة وهو من أكثر الاستخدامات الصناعية والهامة .

## 5- المصهر Fuse

يقوم بعمل القاطع ويقطع التيار في حالة القصر (الشكل رقم 2 - 28) ولكن يعيبه ضرورة تغييره عند كل فصل تلقائي مما يزيد من التكلفة في تلك الشبكات ذات القصر المتكرر repeated short circuit والمصهر من الأدوات واسعة


Fig. 2- 28

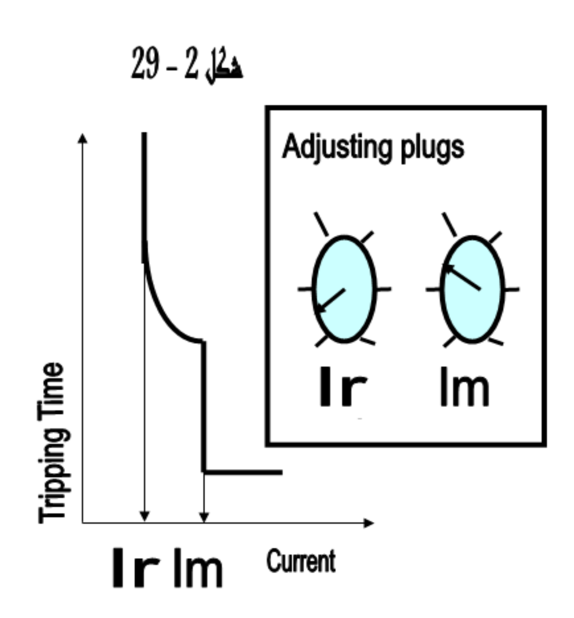
الإنتشار .

## 6- سكينة بالمصهر Fused Isolating Link

يتضمن البند السابق مع سكينة للفصل والتوصيل أثناء التشغيل وهي عمليات ضرورة للتشغيل الكهربي ( الشكل رقم 2 - 27 ) ويستعان بها في الورش والمصانع ومازال الاعتماد عليها كثيرا حتى الآن بالرغم من ظهور تقنيات أفضل بكثير.

## أولا : القواطع المنمنمة Miniature CB

تشمل القواطع للتيارات الصغيرة أقل من 100 أ وتقسم تبعا لخصائص التشغيل عند الفصل بمنحنيات التيار مع الزمن وهي بذلك تعطي الفرصة للتمييز الزمني أو حتى درجة إحساسها بالقصر من عدمه ويتدرج المقنن القياسي التجاري أيضا من 0.5 – 0.75 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 –6 صاعدا حتى 63 أ وبتيار قصر 10 أو 15 ك. أ. وينتج منه أحادي الأقطاب وثنائي وثلاثي ورباعي الأقطاب جهد 240 / 415 ف وينتج أيضا منه للتيار 80 و 100 و 125 أ بتيار قصر 25 ك. أ. ويزود بمتممات التسرب ذات الحساسية 10 – 30 – 100 – 300 – 500 للتيارات حتى 100 أ . علاوة علي ذلك نجد أنها تثبت أفقيا أو رأسيا بنظام مجري موحد Omega Din Rail وهو نظام عالمي حيث يكون عرض القاطع /قطب pole عرض ثابت مقداره 9 مم ولهذا ثائي الأقطاب له عرض 18 مم وثلاثي الأقطاب 27 مم وهو ينتج بمضاعفات التسعة ميلي متر .



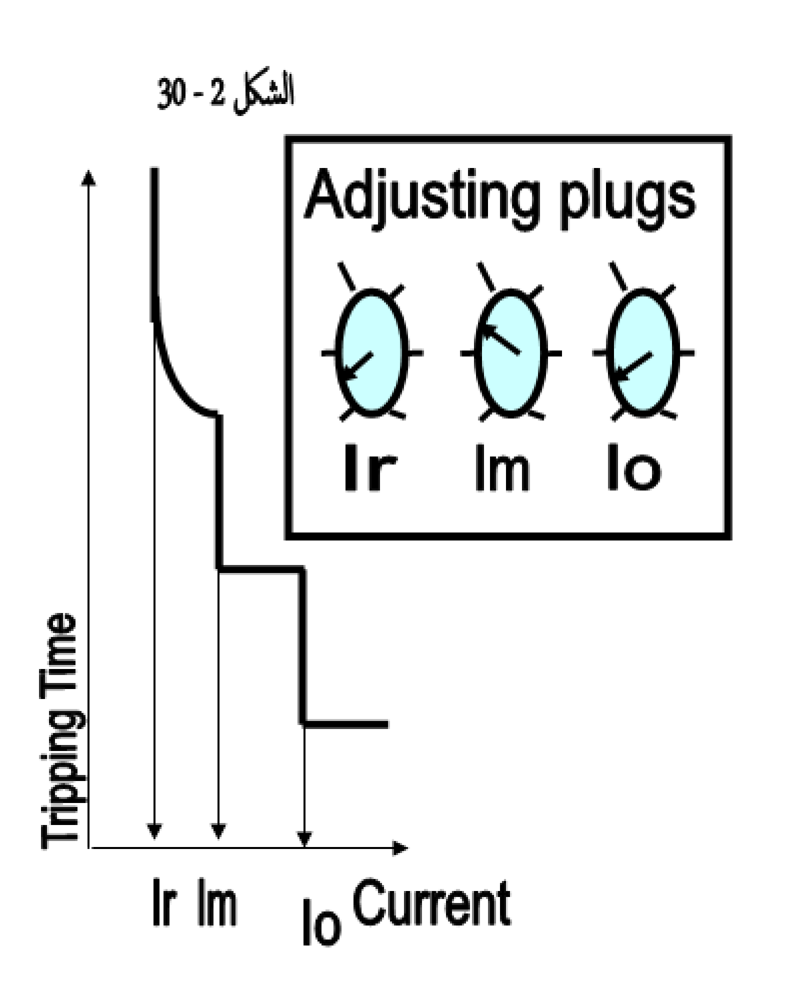

في هذه الشبكات نستطيع حساب قدرة القطع $I_{sc}$ بطريقة سريعة وتقريبية بناء علي قيمة الجهد المقنن V بتحديد كلا من مقاومة $R_b$ وممانعة $X_b$ كل فرع branch وكابل بها وحتى مكان تركيب القاطع بالمعادلة

$$I_{sc} = [V/(3)^{1/2}]/(\Sigma R_b^2 + \Sigma X_b^2)^{1/2} \quad kA \qquad (2 - 78)$$

بالرغم من أن التيار ليس واحدا علي طول المسار حيث يتفرع كل مرة عددا من المغذيات فيتغير التيار ولكن هذا التأثير ضعيف ويعطي الحساب بسهولة وهي عملية هامة لتصميم القواطع في شبكات التوزيع ولمراجعة التركيبات الكهربية حفاظا علي المعدات والأجهزة بها . ولهذا نجدها تتعامل بخواص أداء متباينة كما هو التغيرات المعبر عنها بالمنحنيات التالية: ويبين الشكل رقم 2 – 29 الفصل التلقائي بالتأثير الحراري المغناطيسي ويظهر التيار المغناطيسي Im مدي التأخر عن الفصل السريع وكليهما يمكن ضبطه من خلال الوضع المطلوب لكل منهما علي كل دائرة ضبط خاصة بها كما يتيح الفرصة لتكون قيمة التيار المغناطيسي للفصل قيمة ثابتة لا تتغير .

## الأسلوب الأول :

يستخدم هذا النظام لحماية المولدات والكابلات الطويلة وبه الوقاية الحرارية المغناطيسية بزيادة التيار وكذلك القيمة المغناطيسية الثابتة للفصل وتتراوح بين 7 و 10 أمثال القيمة المقننة (الشكل رقم 2 - 29).
أما بالنسبة للفصل الإلكتروني فنجد في الشكل رقم 2 - 30 مثالا له حيث توجد الأوضاع المختلفة للضبط لكل من التيار المغناطيسي والتيار الفصل وتيار القصر I كما يوضح الرسم كيفية الضبط لهذه القيم جميعا .




## الأسلوب الثاني :

يصلح لوقاية الكابلات التي تمد الأحمال العادية وبها زيادة التيار كوقاية حرارية إضافة إلي القيمة المغناطيسية الثابتة لفصل تيارات القصر والتي تثبت عند القيمة من 7 إلي 10 ضعف المقنن من التيار (الشكل رقم 2 - 30) .

## الأسلوب الثالث :

يدخل هذا المنحنى مع التيارات المقننة العالية وتكون الوقاية الحرارية لزيادة التيار بينما يتم تثبيت القيمة المغناطيسية عند القيمة من 10 14 مثل القيمة المقننة (الشكل رقم 2 - 31) .
أيضا الفصل الإلكتروني يتكرر بصفات أعم كما جاءت في الشكل رقم 2 – 31 حيث يظهر التأثير الزمني لضبط المزمن الذي يعطي الفرصة للتغير الزمني للفصل مع التيار في المرحلة قبل الأخيرة نسبة إلي الخواص السابقة .

## الأسلوب الرابع :

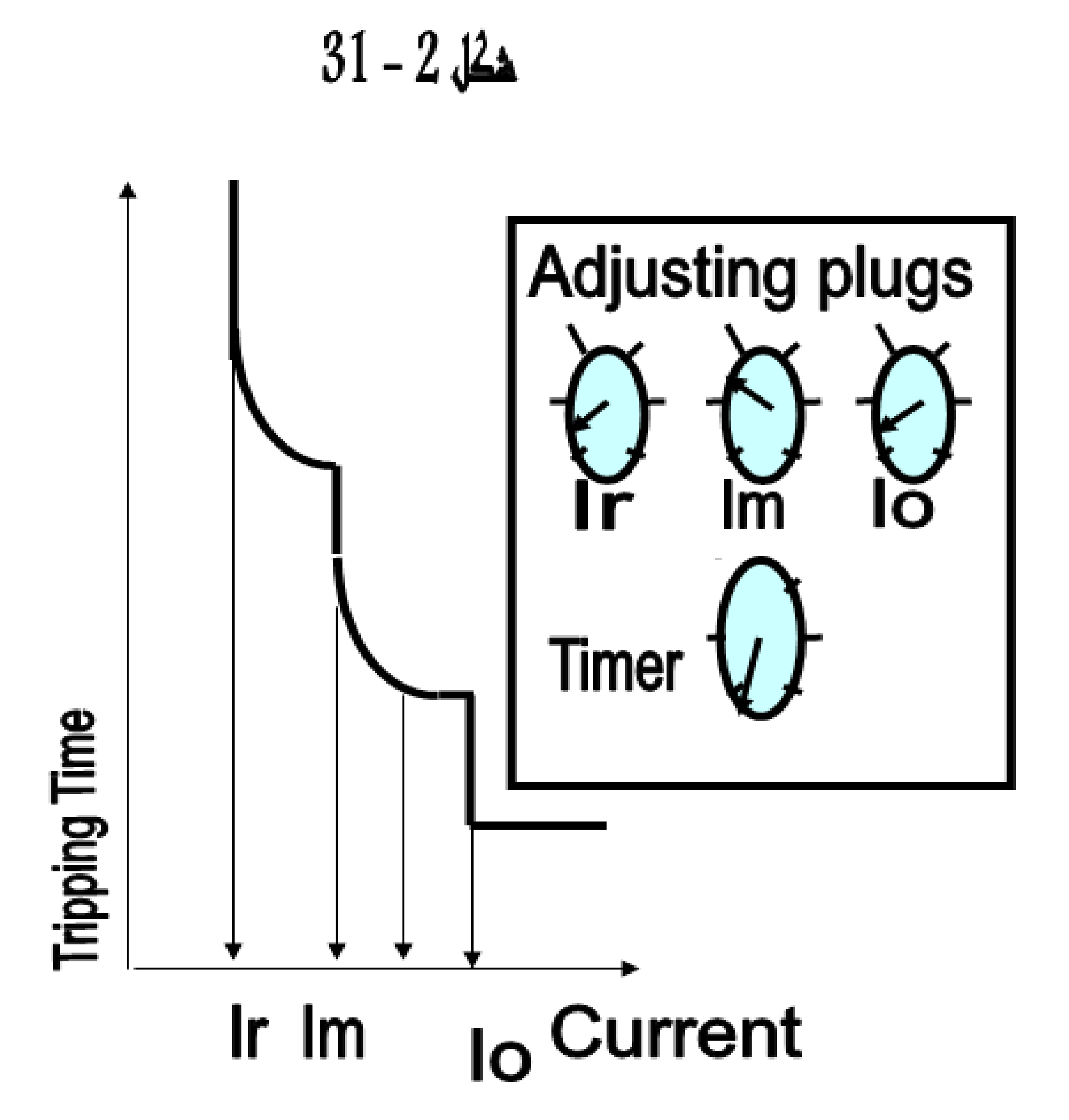
هنا نتعامل مع المحركات الكهربية وذلك لوقاية بادئات الحركة من زيادة التيار كوقاية حرارية مع تثبيت القيمة المغناطيسية بين 10 و 13 ضعف التيار المقنن .

## الأسلوب الخامس :

يدخل هذا الأداء لوقاية الكابلات عند الأحمال العالية وهي حرارية الطابع لزيادة التيار وثابتة القيمة المغناطيسية بين 10 و 14 ضعف التيار المقنن .

## ثانيا : القواطع المقولبة Molded CB

شكل 2 - 31




تعمل هذه النوعية مع المنحنى D , MA السابق الإشارة إليهما والمنحنى G الخاص بوقاية المولدات إضافة إلي النوع ST حيث به فاصل إلكتروني عالي الأداء ويحدد لزيادة التيار القيمة من 0.4 وحتى القيمة الصحيحة من التيار

المقنن وهو في كثير من الأحوال قابل للسحب خارج وضع التشغيل لتحديد وضع الفصل والتنبيه بطريق مباشر عن عدم التوصيل إلا بمعرفة المتخصص وهي ما يتم حساب مقاطعها ومقننات تيار الفصل عند حماية الكابلات بها باستخدام الجداول رقم 1 للكابلات النحاسية والجدول رقم 2 لتلك من الألومونيوم .

جدير بالذكر أن هذه القواطع المقولبة تعمل كقاطع عمومي أو فرعي رئيسي حسب الأحوال ولها مقننات للتيار يتراوح بين 15 وحتى 250 أ ولها قدرة قطع تتراوح بين 10 إلي 25 ك. أ. وتنتج بأقطاب إما ثنائية أو ثلاثية أو رباعية وعادة تعمل علي نظام الفئة A ولها نوعين من تثبيت الأطراف فهي إما أمامية أو خلفية ومن النوع المتحرك عموما .

## ثالثا : القواطع الهوائية Air CB

تصلح هذه النوعية مع التيارات الكبيرة فوق 1.2 ك. أ. ولذلك تستخدم في الشبكات الكهربية العمومية أو في الدخول إلي المواقع التي بها أحمالا في هذا المستوى ويمكن تركيب كافة الأجهزة المعروفة بمجال الوقاية ويمكن إجراء الصيانة عليه بسهولة كما أنه بسيط عند الاعتماد علي الحاسب الآلي للتحكم في تشغيل الشبكة وتصلح لكلاً من التيار المستمر DCوالمتردد AC وينتج منها قواطع من 0.8 حتى 1.2 لغاية 3.2 ك. أ. عند درجة حرارة 40 أو 50 ْم ومع سعة قطع عند 50 / 60 هيرتز 380 ف من 50 إلي 150 ك. أ.ويكون عادة من الفئة B وينتج منه أنواعا بثلاث أو أربع أقطاب 3 or 4 poles وقد يكون من النوع المتحرك With-drawable Type ، وتتكون بصورة عامة من :

1- شاسيه Chassis
2- غرفة شرارة Arc Chute
3- فاصل حماية Safety Shutter
4- محرك لشحن الميكانيزم الميكانيك
5- وحدة تحكم للقواطع بالتيار المتردد حيث يعمل مع قيمة RMS لتواجد القصر أو الموجات التوافقية ومن الممكن إضافة ذاكرة حرارية Thermal Memory للقاطع العامل علي الكابلات الكهربية حماية لها من التراكم الحراري Thermal Accumulation بها فيقوم القاطع بتسجيل التأثير الحراري متراكما بحيث يقوم علي الفصل في مدة أقل من السابقة عند تكرار نفس السبب الحراري أو الفصل عموما حتى لا يتأثر العزل الكهربي بها ويحدث الانهيار الكامل بسرعة .
6- جهاز التحكم عن بعد Remote Control
7- أطراف مساعدة Auxiliaries Terminals تبسيطا لتغييرها واستبدالها عند اللزوم بدلاً من تغيير المفتاح كله أو الأطراف ذاتها
8- غطاء لغرفة الشرارة وآخر للأطراف المساعدة وثالث للقاطع ككل .
9- ملحقات أخرى : يدخل في هذا النطاق كلا من : المفتاح المساعد Auxiliary Switch والمقبض المتحرك Rotary Handle وفاصل الجهد Voltage Release ومانع الحركة الميكانيكية Mechanical Interlock ومنه نوعان فهو إما باليد الدورانية Rotary Hand أو بالقفل Toggle سواء كان الثابت أو المتنقل ويضاف أيضا محولات التيار CT المستخدمة في الدوائر الخاصة بالوقاية المركبة علي القاطع مباشرة .

## الفصل الثالث

# الإضاءة الكهربية في المدن
# Electroc Illumination in Cities

تلعب الإضاءة في المدن دورا مهما ومحوريا في الحياة وتتشعب الاستخدامات لشبكات الإنارة في مختلف النواحي الصناعية والزراعية والاجتماعية وغيرها ولا يقتصر دورها على أساليب التأمين والمعايشة اليومية بل يتعداه إلى السلامة والأمان في مناطق أخرى فمثلا عملية الإنتاج قد تتوقف تماما إذا كانت الإنارة دون المستوى المطلوب وتشكل الإنارة واحدا من أكبر وأهم الأحمال في المدن حتى وإن كانت مدينة صناعية ، ولقد حظيت موضوعات الإنارة بالدراسات المستفيضة سواء من ناحية الجوانب الأكاديمية النظرية أو تلك التطبيقية العملية لتواكب المتطلبات المتزايدة لمختلف أنشطة المجتمع.

من المعروف جيدا أن شبكات الإنارة تختلف اختلافا متباينا من حيث الاستخدام أو التصنيع فما يستخدم في المصانع والورش قد لا يصلح في المستشفيات كل حسب الهدف والغرض والعوامل البيئية المصاحبة له ولقد أدى ذلك إلى استنباط ما يسمى بنظم إدارة الإنارة والتي تحدد المواصفات الدقيقة والعملية لنظام الإنارة في مكان ما والتي تتكامل مع المنشأة الموجودة فيها للحصول على مميزات متعددة وحيوية ، كما أنه بطبيعة الحال بعد التقدم الهائل في صناعة الطائرات فلقد استحدثت أنظمة صممت خصيصا لإنارة الطائرات في جميع حالات الطيران المختلفة سواء نهارا أو ليلا لأمان الطائرة وراحة الركاب ، ولقد تطورت أنظمة إدارة الإنارة في العقدين المنقضيين بما يواكب التقدم العلمي للوصول بما يسمى حاليا الأنظمة الذكية للإنارة وهي التي تطبق حاليا في المكاتب المهمة والفنادق الكبرى العالمية والشركات المتقدمة .

تنمو وبصورة سريعة نظم إدارة الإنارة الذكية **Expert Systems** في كثير من البلدان المتقدمة مثل أمريكا وأوروبا وأيضا في أقطار الشرق الأقصى حتى وصلت إلى معدلات قياسية من التقنية والكفاءة ، وجدير بالذكر هنا أن نحدد كمثال تطبيقي على أهمية هذه النظم ما أنفقته شركة الخطوط الجوية البريطانية خلال الفترة الماضية القصيرة ما يقرب من 200 مليون جنية إسترليني لبناء نظام إنارة خاص بها . ولأن شبكات الإنارة الآن تستهلك القدر الكبير من الطاقة فإن الطرق التقليدية القديمة في الفصل والتوصيل تصبح عديمة الفائدة بل ضارة أحيانا ، ولهذا كان من الضروري البحث عن طرق وأساليب توفر الطاقة وتكون آمنة في ذات الوقت . وأصبح متاحا اليوم العمل الآلي لتشغيل دوائر الإضاءة مباشرة فور هبوط مستوى الإضاءة في الموقع عن حد معين ( حد مرجعي ) فبذلك نستطيع التعامل مع هذه النظم وتكون ناجحة مع تكاثر السحب نهارا أو مع هبوط الليل أو مع الإظلام الداخلي في بعض المنشآت موفرة للطاقة بجانب أنها تعمل آليا ولا تحتاج إلي اليقظة في تشغيلها ، إضافة إلي نفس التشغيل الآلي بقطع التيار عن دوائر الإضاءة إذا ما ظهر النهار فمثلا عند بزوغ النهار أو ظهور النور.

وتتيح أنظمة الإدارة الحديثة في هذا المجال ليس فقط تلبية رغبات المستهلكين في الحال ومستقبلا وفي جميع المساحات باستخدام الحاسب الآلي علاوة علي الاستعانة بالأشعة تحت الحمراء مع مبينات أو كاشف حساس للضوء فتتحكم في دوائر منطقية قابلة للبرمجة مع الحاسب فتعمل علي التشغيل توصيلا أو فصلا حسب الاحتياج وقد أصبح فعلا هذا النظام مستخدما ولعدد هائل من المصابيح والمفاتيح مع تغيير مستويات الإضاءة في ذات الوقت علي التوازي أو في أزمنة متتالية لنفس الدائرة الواحدة .

يمكن الحصول علي الضوء من خلال عدة طرق منها:

1- مرور تيار كهربي في فتيلة
2- قوس كهربي بين قطبين ( معدن أو كربون )
3- تفريغ كهربي داخل بعض الغازات مثل بخار الصوديوم أو الزئبق أو النيون )

**كما يجب مراعاة ما يلي:**

**1- شدة الإضاءة المناسبة لأداء العمل المحدد**
**2- كمية اللون المناسبة في هذا الضوء**
**3- تجنب الإبهار الناتج عن شدة الضوء**
**4- تجنب الظلال الشديدة المعتمة**
**5- الصيانة الجيدة والمستمرة لدوائر الضوء وملحقاتها).**

**كان النوع الزيتي أول مصابيح استخدمت للإضاءة في العصر الروماني منذ حوالي مائة عام قبل الميلاد ثم اكتشف همفري ديفي عام 1808 وجود شرارة دقيقة جدا باستخدام التيار الكهربي عند تقريب سلكين بينهم مسافة صغيرة جدا موصلين بقطبي بطارية، ثم استخدمت المصابيح المملوءة بالغاز في الإضاءة الشوارع بباريس وأمريكا عام 1816 وكذلك أجريت تجارب متعددة في الفترة 1849- 1856 لتطوير مصابيح القوس الكهربائي الكربونية بواسطة كل من ستيني وبيتر ، ثم في الفترة التالية 1870- 1898 تمكن هولمز من إضاءة بعض المنازل في مدينة لندن بواسطة مصابيح القوس الكربونية من مولدات كهرو مغناطيسية والتي تدار بالبخار، وفي عام 1876 اخترع الضابط الروسي جابلوشكوف مصابيح تحتوي على قطبين من الكربون موضوعين بجانب بعضهما وسمي هذا المصباح بالشمعة الكهربائية وفي 1878 أنتجت مصابيح القوس الكهربي.**

**وفي عام 1879 اخترع توماس أديسون المصباح الكهربي وكانت فتيلة هذا المصباح من الورق المكربن ، ثم مصابيح الورق المكربن فمصابيح فتيلة الخيزران المطلية بالكربون Carbonized Bamboo Filament Lamps وتلي ذلك استخدام أول نظام إضاءة كهربي للشوارع بمصابيح القوس الكربوني المفتوح ثم تطورت في عام 1893وأصبحت مصابيح القوس الكربوني المغلق هي المستخدمة Open Carbon Arc Lamp وقد تطورت صناعة المصابيح وأنتجت مصابيح أخرى مثل مصابيح القوس المشتعل Flaming Arc Lamps ومصابيح القوس المضيءLuminous Arc Lamp ثم في عام 1891 استخدمت مصابيح الفتيلة السيلولوز المطلية بالكربون Carbonized Cellulose Filament ، وفي عام 1905 ظهرت أول مصابيح الفتيلة المعدنية Metallic Filament وفي نفس الوقت أنتجت مصابيح الأوزميوم Osmium Lamp ثم أنتجت مصابيح التنتاليوم Tantium Lamp وفي عام 1906 ذات فتيلة من معدن التنتاليوم .**

**بعد ذلك أجريت تحسينات على مصابيح الفتيلة المعدنية حتى أنتجت المصابيح المملوءة بالغاز Gas Lamps وفي عام 1934 استخدمت مصابيح الصوديوم بشدة إضاءة أعلى ( 56 ليومن / وات ) وكان عمر المصباح في حدود 4000 ساعة، وقد استخدمت لأول مرة مصابيح الزئبق في عام 1939 . كما أنتجت تجاريا مصابيح تنجستن عام 1937 وتميزت عن المصابيح السابقة وظهرت في نيويورك المصابيح الفلورسنت الأنبوبية الموفرة للطاقة في الفترة 1938 – 1939 وتحتوي على دائرة تسخين متقدم لبداية التشغيل وفي عام 1944 تم تشغيلها بدائرة بداية التشغيل اللحظي.**

**وفي عام 1952 استخدمت دائرة بداية التشغيل السريع وفي عام 1978 أنتجت المصابيح الفلورسنت الأنبوبية ذات قطر أقل من سابقيها وبنفس الأطوال ومنذ سنوات أنتجت المصابيح الفلورسنت ذات القطر 16 مم، وبعد ذلك تعددت الأبحاث لإنتاج المصابيح الفلورسنت المدمجة ثم أنتجت في 1991 مصابيح الحث الكهربي Induction Lamp أو تلك بدون أقطاب المصابيح الفلورسنت المدمجة Electrodeless Lamp ثم في 1996 ظهرت المصابيح الفلورسنت المدمجة الحلزونية Helix Compact Fluorescent Lamp. وقد تم حصر الطاقة المستهلكة في الإضاءة بمصر لمدة عام طبقا لتقارير هيئة كهرباء مصر كما في الجدول رقم 3-1 بالنسبة المئوية لاستهلاك الطاقة الكهربية اللازمة للإضاءة من الطاقة الكلية .**

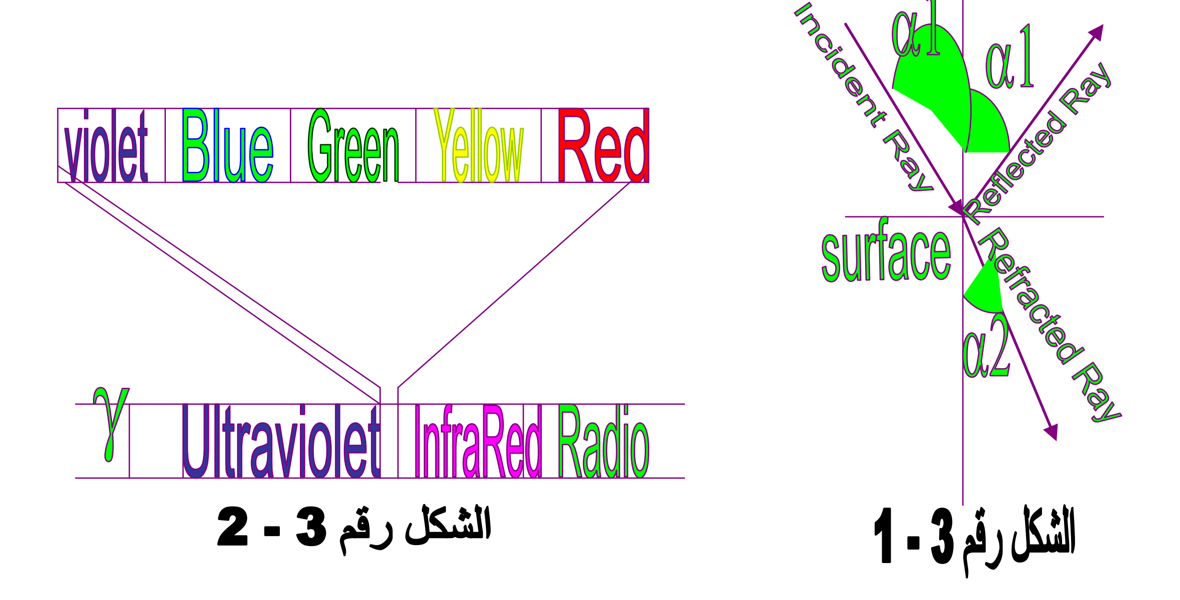
**الجدول رقم 3-1 : استهلاك الطاقة الكهربية في الإضاءة بمصر**

| القطاع | جيجا وات ساعة في العام | الإضاءة ( % ) | القطاع ( % ) |
|---|---|---|---|
| السكاني | 4622 | 73 | 38 |
| تجاري | 858 | 14 | 50 |
| صناعي | 447 | 7 | 2 |
| حكومية وأخرى | 365 | 6 | 7 |
| إجمالي | 6292 | 100 | 97 |

## 1-3 : خصائص الضوء Light Performance

الضوء عبارة عن طاقة وهي لذلك تتحول من أي من صور الطاقة كهربائية كانت أو كيميائية أو غيرهما وهي تنطلق في خطوط مستقيمة داخل الوسط medium وتكون سرعته 3 x $10^{8}$ سم/ث في الفضاء Space وتقل عن ذلك في الهواء Air والمعادن والسوائل ، ولكل وسط معامل انعكاس reflecting وآخر للمرور refracting داخل الوسط الجديد وهذا ما يظهر في الشكل 3-1 حيث أن سرعة الضوء تتحدد بالمعادلة

سرعة الضوء = طول موجة الضوء × ذبذبة الموجة ( 3-1 )




الشكل رقم 3 - 1

الشكل رقم 3 - 2

فمثلا طول موجة الأشعة فوق البنفسجية 400 نانو متر بذبذبة 7.5 × $10^{14}$ هيرتز بينما طول الموجة تحت الحمراء هو 750 نانو متر بذبذبة 4 × $10^{14}$ هيرتز عند مرور أي موجة من وسط إلى آخر لا تتغير الذبذبة ولكن يتغير كل من طول الموجة وسرعتها تبعا للمعادلة رقم 3-1 . ينتج الإشعاع الضوئي كموجات كهرومغناطيسية electromagnetic waves من خلال العمليات الفيزيقية والكيميائية المختلفة وحيث أننا بصدد الإشعاع الضوئي radiation of light فقط في نطاق الرؤية البصرية vision range (380 – 780 نانو متر ) إضافة إلى الموجات فوق البنفسجية ultra violet وتحت الحمراء infrared حيث أصبح متاحا تحويلها إلى مجال الرؤية ويتضح من الشكل رقم 3-2 أن الموجات المختلفة تتزايد وتتناقص بينما الموجات الضوئية تقبع في الوسط تقريبا وكلما تحركنا طرفيا تقابلنا مع الأشعة الضارة والخطرة مثل جاما وغيرها ، كما ينتج الإشعاع المرئي عموما من :

1- التوهج luminous through over heating نتيجة سخونة السوائل أو المعادن الصلبة في درجات حرارة عالية جدا تصل إلي حد الانصهار
2- التفريغ الكهربي electric discharge بمرور التيار في الغازات
3- مرور تيار في أشباه الموصلات semiconductors والمواد الفسفورية
4- إعادة الإشعاع re-radiation بعد امتصاصه مثل المواد الفسفورية والفلورية
5- من خلال الديناميكية الإليكترونية بالتصادم electron collisions منتجا " فوتون "
6- من خلال العمليات الكيميائية chemical والحرارية لبعض المعادن

ويبين الجدول 3-2 توزيع شدة الاستضاءة (فوتو متري ) الفيض الضوئي تبعا للاتجاهات والزاوية الفراغية.

الجدول رقم 2-3 : أنواع الإضاءة

| ضوء | اتجاه الأشعة | ضوء أعلى (%) | ضوء أسفل (%) | التأثير |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| مباشر | | 10 – 0 | 1000-90 | تركيز الضوء إلي أسفل ويقل علي السقف ويجب أن يكون عاليا للحصول علي شدة متساوية وتجنب الإبهار |
| مباشر بشكل رئيسي | | 40-10 | 90-60 | تركيز الضوء إلي أسفل ويقل علي السقف ويجب أن يكون عاليا للحصول علي شدة متساوية وتجنب الإبهار |
| بالتساوي | | 60-40 | 40-60 | لا يظهر الإبهار ويضيء السقف مع ظلال ضعيفة ويكون التعليق بعيدا عن السقف ويكون متجانسا في التوزيع وقد تستخدم المتضدة لمثل هذه النوعية |
| غير مباشر بشكل رئيسي | | 90-60 | 10-40 | لا يظهر الإبهار ويضيء السقف مع ظلال ضعيفة ويكون التعليق بعيدا عن السقف |
| غير مباشر | | 100-90 | 10-0 | الظلال شديدة ويصلح في أعمال الديكور بشكل عام كما لا يوجد إبهار |
| غير مباشر | | 100-90 | 10-5 | الظلال شديدة وهي الضوء الشائع كما أنه يصلح لأعمال التصوير فوتوغرافي وسينمائي وأعمال الديكور ويقضي علي أي إبهار |

ويظهر الجدول الأنواع المتباينة من أشعة الضوء ومستوى استخدامها في شتى الميادين حيث ننتفع بها في الدوائر الكهربية الحساسة لحماية المتاحف بل وفي الكشف عن الدخان أو عن مسببات الحريق إلي غير ذلك من المهام وهي كلها نافعة للإنسان كما لا يفوتنا أشعة الليزر بمنافعها ومضارها في القرن العشرين وما سوف ينتجه القرن الحالي من معجزات ضوئية مقبلة ، وبعد ما سبق تقديمه بصورة عامة عن الضوء نستعرض خصائصه في السطور التالية.

## أولا : الوحدات الهندسية　　Engineering Units

نتعرض في هذا الجزء للتعاريف المختلفة definitions للوحدات الضوئية والتي تنتج من المصابيح الكهربية فالمصباح الكهربي أيا كان نوعه هو أداة لتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية وذلك عن طريق مرور تيار كهربي عبر وسط ما وهو الذي يحدد نوعيته وخصائصه خصوصا وإننا سنتعامل مع أنواع عديدة من المصابيح الكهربية حيث يختلف كل نوع عن الآخر من حيث التصميم والأداء تبعا للغرض من المصباح وأهمها هو الإنارة ، ويمكن الاعتماد على الأسطح العاكسة للضوء والتي تعتبر بدورها مصادر ضوئية ثانوية كما أظهر ذلك الجدول رقم 2-3 ومن هذه الوحدات:

### 1- الفيض الضيائي Luminous Flux $\phi$

هو كمية الإشعاع الضوئي الخارجة من منبع مضيء في الثانية الواحدة شدته 1 كانديلا على مساحة 1 م $^2$ ووحدة الفيض الضوئي هو اللومن ويرمز لها بالرمز المختصر ( lm)

### 2- كمية الضوء Quantity of Light Q

تعرف كمية الضوء الخارجة من مصباح معين في زمن معين بأنها

$$Q = \phi t \qquad (lm.\ s) \qquad (3\text{-}1')$$

حيث t هي الفترة الزمنية و ϕ هو الفيض الضيائي لهذا المصباح .

## 3- كفاءة الإضاءة Luminous Efficiency

تتحدد بالنسبة بين شدة الضوء بوحدات الليومن إلي كل وات من الطاقة المنتجة له فمثلا المصباح المستهلك لطاقة 100 وات وينتج ضوءا قدرته 500 ليومن فتكون كفاءته هي 500 / 100 أي 5 ليومن / وات

## 4- الاستضاءة E Illumination

هي تلك الكمية الساقطة من الفيض الضوئي علي سطح مساحته الوحدة أي أنها تعادل الوحدة $(lm/m^2)$ وهي الوحدة الجديدة والتي تسمي اللوكس حيث (اللوكس = ليومن / مربع المتر ) وتأخذ الصيغة :

$$E = d\phi / ds \qquad (3\text{-}2)$$

## 5- شدة الإضاءة ( I ) Luminous Intensity

تعرف بأنها كمية الفيض الضوئي الساقط علي مساحة ما بالنسبة إلي الزاوية الفراغية المقابلة لهذا السطح عند المنبع الضوئي ووحدتها الكانديلا والتي تعبر عن قوة الضوء الساقط علي مساحة الوحدة 1 سم2 (I =ϕ /solid angle )

## 6- النصوع ( L ) Luminance

يقاس بهذا المعامل شدة الضوء الصادر عن منبع ضوئي أو ذلك المنعكس عن ضوء أساسي آخر وهو محدد الاتجاه ويتحدد لكل نقطة علي حدة علي كل سطح ويمثل شدة النصوع علي المساحة الساقط عليها وبذلك تصبح وحداته هي كانديلا / سم2 ( L = I / A )

## 7- الانعكاسية Reflectance

يظهر الضوء المنعكس من الأسطح المواجهة لمنبع الضوء وتكون أكثر تجانسا من ضوء المنبع الرئيسي ولكنها بقدر أقل بمعامل أقل من الواحد الصحيح ولذلك يكون

**الضوء المنعكس = الضوء الساقط x معامل الانعكاس (3-3)**

## 8- معامل الاستهلاك Depreciation Factor

يتأثر هذا المعامل بعمر الفتيلة وهو ما يتبع الصيغة :

**معامل الاستهلاك = الفيض الفعلي / الفيض الأقصى في بداية التشغيل (4-3)**

## 9- معامل الاستفادة Use Factor

يعبر هذا المعامل عن النسبة بين كلا من الضوء الساقط والضوء الأصلي الصادر عن المنبع الضوئي ويتم التعبير عنه بالمعادلة

**معامل الاستفادة = الفيض المستغل فعلا / الفيض الكلي بالمنبع (5-3)**

**وفي الواقع الفعلي يتراوح هذا المعامل بين 70 و 80 % وهو يعتمد علي**

**(أ) الأسطح العاكسة وهي تتمثل في الحوائط والسقف وأوانها**
**(ب) ارتفاع المصدر الضوئي عن السطح المضاء**
**(ج) زاوية الضوء الموجه إذا ما كان المصدر موجها**

**مع العلم بالتحويلات بين الوحدات الآتية : ( 1 لومن / قدم $^2$ = 10.764 لومن / متر $^2$ = 1 قدم كانديلا ، 1 لومن / متر$^2$ = 1 لوكس = 0.093 لومن / قدم $^2$ )**

## 10- معامل الصيانة Maintenance Factor

**يعتمد هذا المعامل علي المتابعة والصيانة ويتأثر بالنظافة وهو عادة في حدود متباينة تبعا لمكان الاستخدام الضوئي فالمكاتب معامله 0.8 بينما للورش حيث الأتربة يصل إلي 0.4 كما تظهر درجة الحرارة كمؤثر هام في هذا المجال وخصوصا في المناطق الحارة وما ينعكس علي وحدة الإضاءة وما يستلزم من ضرورة الاعتماد علي مساعدات لتمرر الحرارة من حول وحدات الإضاءة لتقليل درجة الحرارة ويأتي الغبار والمنتشر في الأجواء وخصوصا تلك القريبة من المصانع الأسمنتية وما يماثلها لما تسببه من خفض شدة الإضاءة أو الحاجة المستمرة للصيانة والنظافة وضرورة الاعتماد علي النظم المغلفة من وحدات الإضاءة covered units ثم يظهر التأثير الآخر وهو الرطوبة والماء في المناطق الممطرة أو تلك المستخدم فيها رشاشات المياه ولذلك يجب أن تكون وحدة الإضاءة مانعة للصدأ ومانعة للتسرب المائي أو الرطوبة عموما وتستخدم في هذا النطاق الألياف الزجاجية ولذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التصميم لهذه الأعمال معامل الصيانة والاستفادة أيضا بأن يرفع القدر المطلوب بالصيغة**

$$\text{شدة الضوء بالتصميم} = \frac{\text{شدة ضوء المصدر حسابيا} \times \text{المساحة المنارة}}{(\text{معامل الاستفادة} \times \text{معامل الصيانة})} \qquad (6\text{-}3)$$

## 11- حد الإبهار Glare Limit

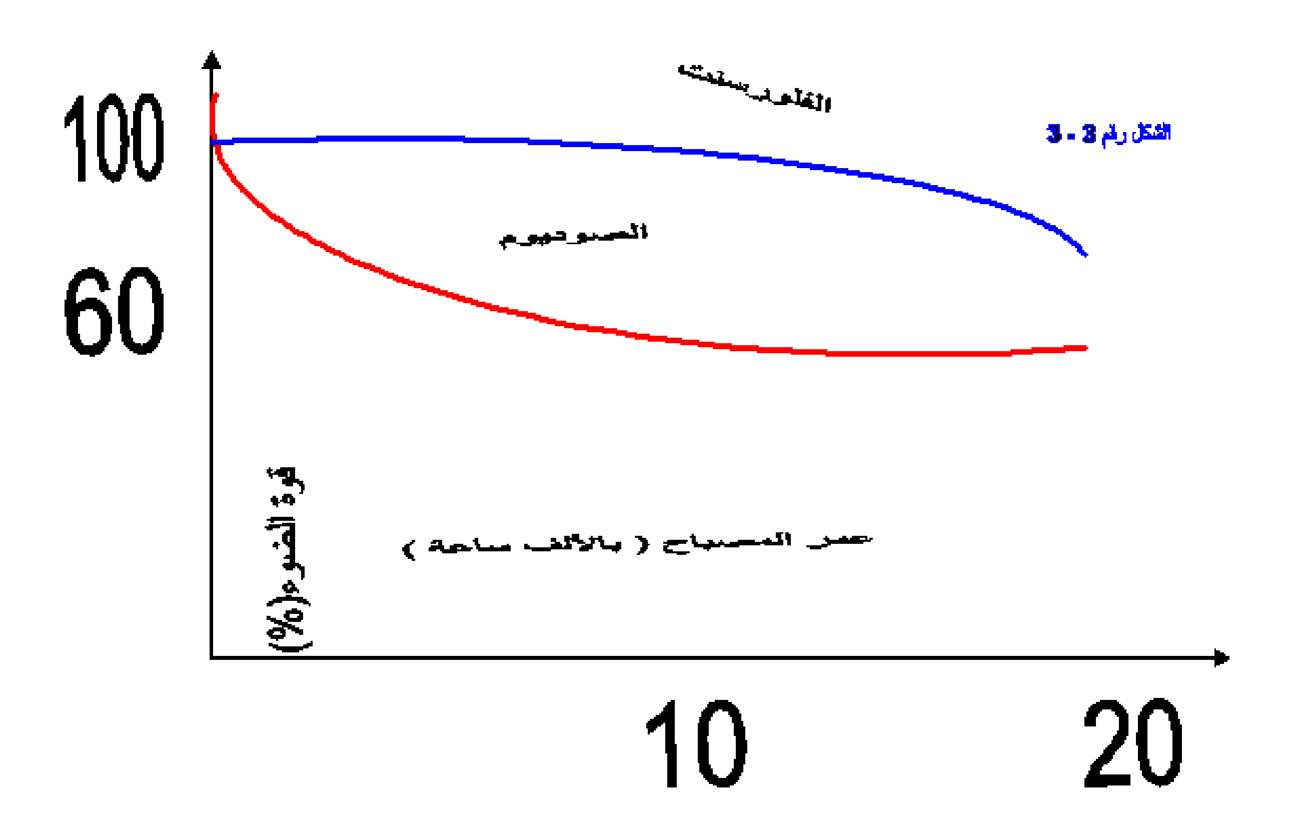
**يتحدد هذا الحد بمدي القدرة علي الرؤية وبالنسبة للإنسان فلها الحدود البصرية المعروفة وكل ما يفوق هذا الحد يصبح في مجال الإبهار ويكون ضارا للعين المجردة ويجب أن نبتعد عن احتمالات حدوثه في أعمال التصميم**

# ثانيا : المصابيح الكهربية
# Electric Lamps

**تتعدد أنواع المصابيح وأشكالها ونظريات عملها والغرض منها ولكنها تشترك في بعض الصفات الأساسية والتي لا غنى عنها عند التعامل معها واختيار الأمثل منها وذلك ينحصر في أهم الخصائص العامة والمميزة لها عند المقارنة أيضا وهي والتي تنحصر في :**

## 1- شدة الضوء Luminance

**تعتمد شدة الضوء علي اتجاه الضوء وهو عادة ما يكون مطلوبا في كل الاتجاهات خصوصا مع الحديث منها ولكن ذلك يتناقص بالتقادم وتقاس شدة الإضاءة الابتدائية للمصباح الفلوري بعد مرور 10 ساعات تشغيل متواصل كي تتزن القدرة الإضائية والتي تتآكل مع الزمن بترسيب داخلي علي حائط المصباح ويبين الشكل رقم 3-3 متوسط عمر المصباح وتأثره بالتقادم فمثلا يقاس 50 % من عمر مصباح الصوديوم ضغط عالي بينما 40 % للمعادن الهاليد .**




## 2- الكفاءة الضوئية Efficiency

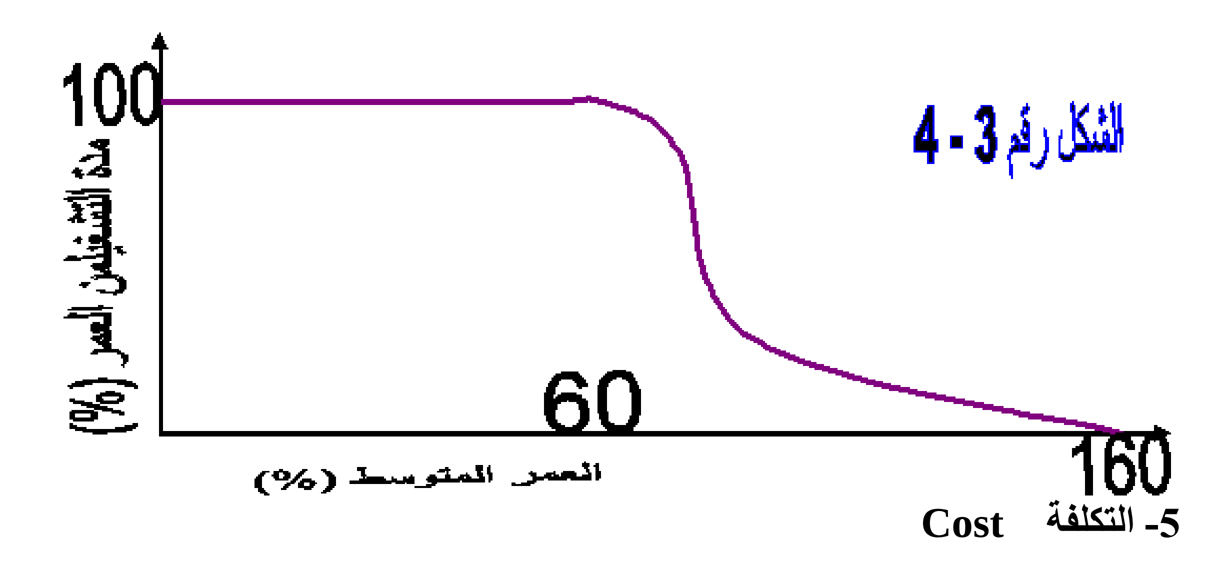
**سبق الإشارة إليها وتقدر بحوالي 20 % للمصباح الفلوري حيث يستبعد الفقد في الملف الخانق ولذلك تقدر الكفاءة بالقدرة الداخلية للدائرة .**

## 3- اللون Color

**يمثل اللون الضوئي خاصية هامة للمقارنة ولهذا نضع معاملين هما : المعامل الحراري للون correlated color temp (CCT) وذلك المعامل مؤشر تغير اللون color rending index (CRI) .**

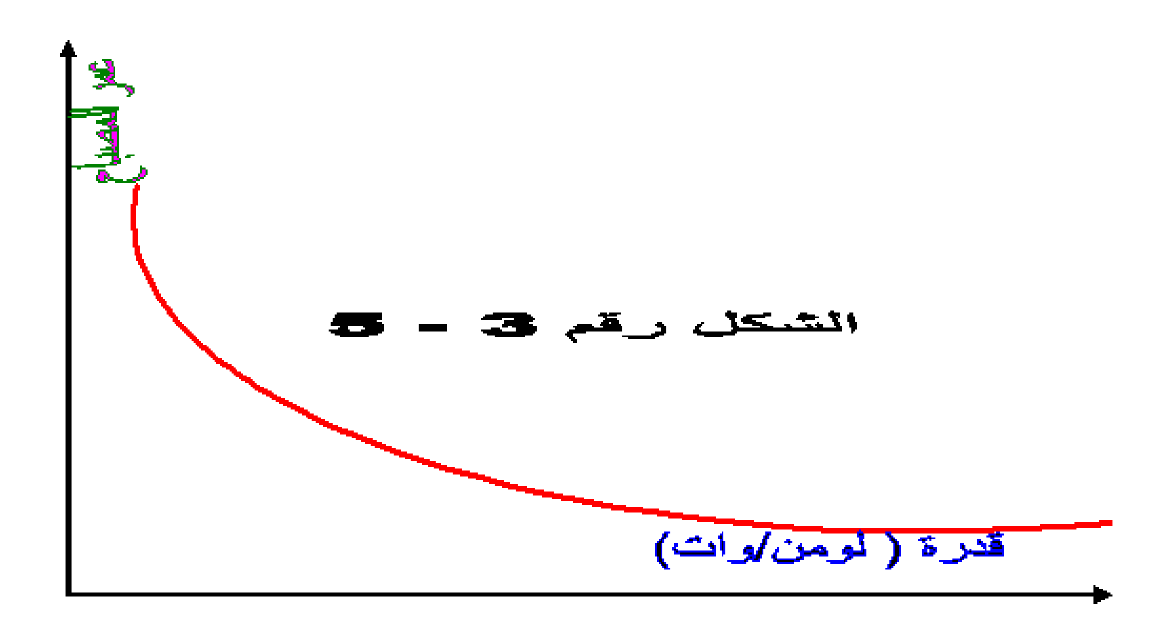
## 4- العمر المتوسط Age

**يقدم الشكل رقم 3-4 مدى تأثر عمر المصباح وهو ما يعادل في المتوسط 20 ألف ساعة تشغيل ويعطي الشكل رقم 3-5 تأثير القدرة الضوئية علي عمر المصباح .**




## 5- التكلفة Cost

وهي من العوامل الهامة للمقارنة ويشمل تكلفة المصباح والملحقات وتكلفة التشغيل والصيانة وملحقات المصباح من عاكس وملف خانق أو بادئ وغيره .




كما يمكن تقسيم المصابيح إلي النوعيات التالية :

(أ) المصابيح الطبية medical Lamps مثل مصابيح الشمس وتلك القاتلة للجراثيم
(ب) مصابيح مسرحية وسينمائية Theatre Lamps وهي تلك التي تضئ مناطق محدودة وبتركيز عال حيث تستخدم العدسات المختلفة وتصمم لمسافات متباينة مثل مصباح الزينون
(ج) مصابيح الوقاية الآلية Protection Lamps مثل تلك المستخدمة في حماية البنوك والمتاحف وغيرها وقد يستعان بضوء الليزر في هذا الصدد
(د) مصابيح الإضاءة العادية Light Lamps وهي الأكثر شيوعا وهي في الحقيقة تنقسم بدورها إلي:

## النوع الأول : مصابيح الفتيلة Filament Lamp

حيث تعتمد علي نظرية التوهج الناتج للضوء خصوصا مع تلك المواد التي تتحمل درجات الحرارة العالية والتي تتضمن كلا من :

1- المصباح المتوهج Incandescent Lamp حيث تصل أحيانا إلي 2400° م وتحتوي علي جميع الألوان بالرغم من تغلب اللون الأحمر والأصفر وتصنع الفتيلة من تنجستن وتوضع داخل قارورة من الزجاج الشفاف مفرغة الضغط .
2- مصباح تنجستن – هالوجين Tungsten – Halogen Lamp حيث يدخل فيها بخار تنجستن ويترسب مع الاستعمال والتشغيل ويترسب علي الجدار الداخلي ولذلك يضاف النيتروجين والأرجون فيها للتغلب علي هذا البخر
3- مصباح القوس الكربوني Carbon Arc Lamp ويصلح للتيار المستمر أو المتردد وعادة ما تكون الثغرة الحادث بها التفريغ في حدود 3 – 6.5 مم

## النوع الثاني : مصابيح التفريغ الغازي Gas Discharge Lamps

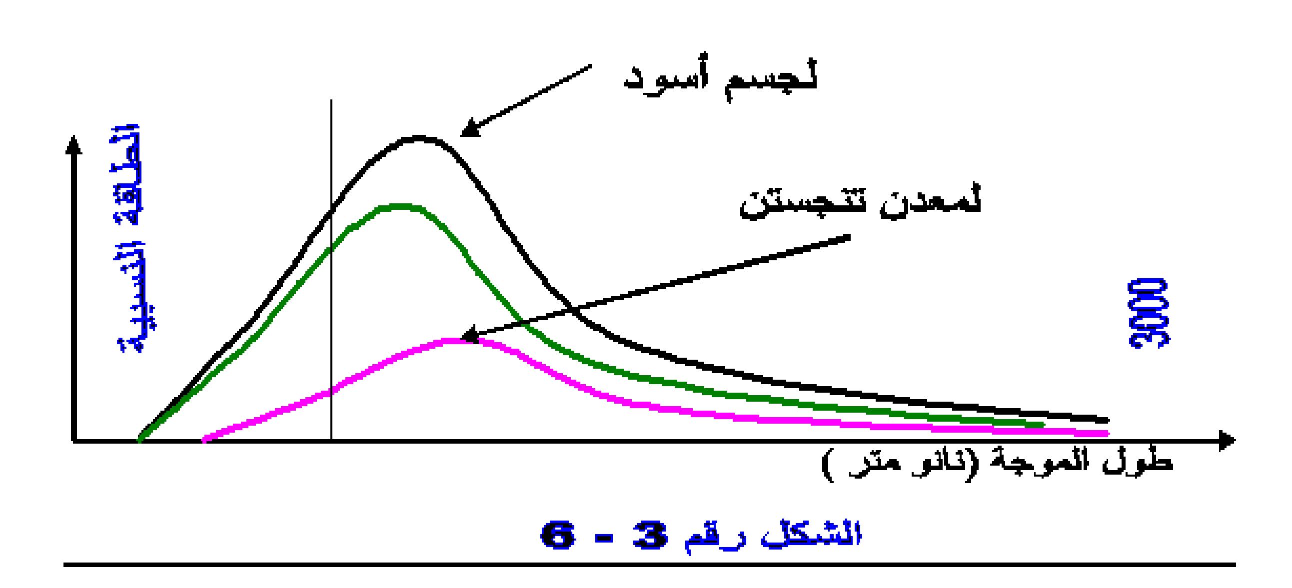
وهذا النوع متباين ومتعدد وهي تنقسم إلي فرعين فمنها :

(أ) مصابيح ذات مستوى إضاءة متوسط Normal Level وهي :
1- المصباح الفلوري Fluorescent Lamp
(ب) مصابيح عالية شدة الإضاءة High Level ومنها ما يلي :
1- مصباح الصوديوم Sodium Lamp
2- مصباح الزئبق Mercury Lamp
3- مصباح الهاليد المعدني Metal Halid Lamp

بعد هذا التحديد لأنواع المصابيح ننتقل إلي الصفات الفنية والهندسية التي تتعلق بها في إطار مركز .

## 2-3 : مصباح الفتيلة Incandescent Lamp

هذا النوع من المصابيح يعتمد علي مرور تيار كهربي في فتيلة معدنية مسببا توهجها فتصدر ضوءا بجانب هذه الحرارة العالية نتيجة لتحرير الإلكترونات من مداراتها فتصبح حرة ، ولما كانت الفتيلة تعمل عند درجات الحرارة المرتفعة كي تصدر الضوء فكان لزاما أن تصنع من مادة غير سريعة الانصهار ولذلك كانت مادة تنجستن هي المناسبة لمثل هذه الظروف ويضاف في وعاء المصباح غاز خامل تحت ضغط بخار منخفض ليعمل علي تبريد الفتيلة مرتفعة الحرارة من جهة ويمنع عنها التفاعلات الكيميائية فيحميها من الصدأ من الجهة الأخرى ويجب أن تكون الفتيلة قادرة علي الإشعاع ولها مقاومة مناسبة لهذا التشغيل ( الشكل رقم 3-6 ) .

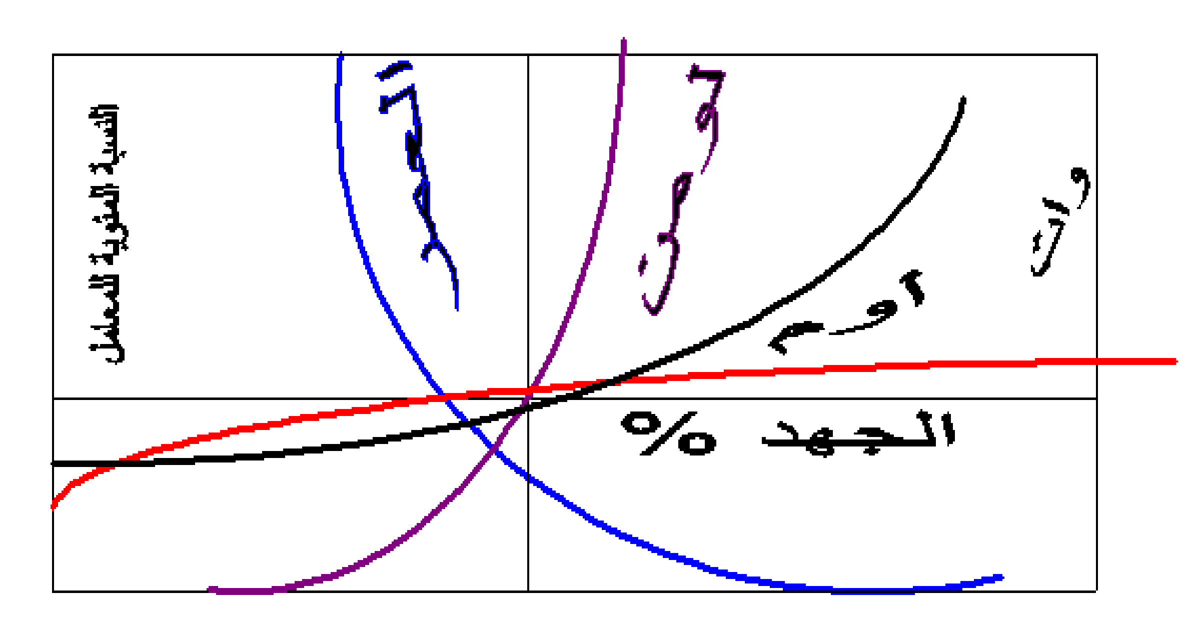



الشكل رقم 3 - 6

من طبيعة هذا النوع أن الضوء، وما يصدره من أشعة مرئية والصادر عن التوهج ، يغلب عليه اللون الأصفر والأحمر بينما يحتوي علي الألوان الأخرى بمعدلات ضعيفة مثل اللون الأزرق والأخضر مثل ضوء النهار مسببا الزيادة الحرارية المعتادة والتي تصل إلي 2300 درجة كلفن ، ولأنها أول المصابيح التي عرفت في التاريخ فعمرها أصغر من غيرها من الأنواع الأحدث حيث يتراوح بين 100 و 2000 ساعة تشغيل وتعتمد الفتيلة علي كمية الحرارة المفقودة بالإشعاع لأن الانتقال الحراري ضئيل ويهمل .

جدير بالذكر أن التصنيع الحالي لمادة الفتيلة يحتوي علي القليل من الألومنيوم أو البوتاسيوم أو السليكون مع تنجستن لأن هذه الإضافة تزيد من صلابتها الميكانيكية يظهر من الشكل أن مادة تنجستن تشع فقط 75 % من الإشعاع الكلي للجسم الأسود لنفس درجة الحرارة وتزيد هذه النسبة كلما ارتفعت هذه درجة الحرارة حيث نجد الأعطال الدائمة في هذه المصابيح يحدث مع لحظة بدء تشغيل المصباح لأن الفتيلة تتلقى تيارا يعادل 14 مرة مثل التيار المقنن لها .

من المتاح زيادة عمر المصباح ( الشكل رقم 3- 7 ) من هذا النوع عن طريق تقليل ( جهد تشغيلها ) فرق الجهد عليها ولكن هذا يصاحبه كثافة أعلي لتواجد اللون الأحمر والأصفر فتؤثر علي كفاءة الألوان بها وما يتبع ذلك من قلة شدة الإضاءة وكفاءتها الكلية وهما المعاملان المرتبطان بقيمة الجهد بين طرفي المصباح علي النقيض مع معامل عمر تشغيلها ، كما أن درجة الحرارة العالية تساعد علي تقليل عمر المصباح من هذا النوع - وتتميز هذه المصابيح بالثمن الهزيل بجانب عدم الحاجة لصيانتها وسهولة تغييرها وتركيبها والأمان في التعامل معها ولا يلزمها أية ملحقات إضافية مثل المحولات أو الملفات الخانقة أو بادئ للتيار أو أي من أدوات التحكم في الجهد أو التيار وغالبا ما تنصهر الفتيلة بانتهاء عمر المصباح .




الشكل رقم 3 - 7

## أولا : أنواع مصابيح تنجستن

تتنوع هذه المصابيح حسب الشكل الخارجي تبعا للمواصفات القياسية في أسلوب هندسي كما يلي:

### النوع الأول : المصباح شكل A

هو المصباح القياسي المعروف والذي يعطي الضوء في كافة الاتجاهات ما عدا جهة التثبيت مثل المصابيح المستخدمة في المنازل .

## النوع الثاني : المصباح شكل R

**يصاحب هذا النوع عاكس ضوئي داخلي من الألومنيوم يعمل علي توجيه الضوء في اتجاه واحد للخارج وبذلك تكون الكفاءة الضوئية أعلي من السابق ويرتفع أيضا سعره عن سابقه ويعتمد شكل الضوء الصادر علي نمط وشكل العاكس الداخلي .**

## النوع الثالث : مصباح القضيب Par Lamp

**يكون الغلاف الزجاجي أكثر سمكا من النوعين السابقين حيث يحتوي علي قضيب من الألومنيوم يعمل علي عكس الضوء الصادر عن الفتيلة Parabolic Aluminum Reflector وهو مكون من قطعتين من الزجاج بينما العاكس يأخذ شكل القطع الناقص كي نصل إلي تركيز أعلي وهو مثل النوع ضوء البقعة spot light**

## النوع الرابع : المصباح البيضاوي ER Lamp

**يأخذ العاكس الشكل البيضاوي في بؤرته الداخلية الفتيلة بينما له بؤرة خارجية لتلتقي مع الأشعة المنعكسة من العاكس الداخلي ( فتيلة وهمية ) فتعمل علي توزيع الضوء بكثافة عالية وهي قريبة الشبه من النوع R ولذلك يقل الفقد كثيرا في هذه النوعية .**

## مجموعة النوع الخامس : مصابيح الديكور ( مصباح F , T , G )

**تستخدم هذه النوعيات في أعمال الإضاءة الخاصة فالنوع F يستخدم في أعمال الديكور والنوع T يصلح لوحدات الإضاءة الطويلة مثل التماثيل وواجهة المباني أو القصيرة المناسبة للوحات الفنية أما النوع G فهو يناسب الأشكال الكروية .**

## النوع السادس : مصباح عالي الكفاءة High Efficiency Incandescent

**هو النوع الحديث من نوعية المصباح المتوهج ويستعمل بكفاءة في كافة الأعمال الصناعية والمعملية ويتميز بقلة استهلاك الكهرباء**

## ثانيا : أحجام المصابيح Size

**المصابيح ذات الفتيلة يتحدد حجمها من خلال القدرة المستهلكة ( watt ) ومضروب الرقم 8/1 بوصة تعني أن المصباح القياسي ( 19 A 100 ) يستهلك 100 وات وهي من نوع A ونصف قطرها (8/1) x 19 = 2.375 بوصة . ويأتي هذا المصباح أحيانا على شكل أسطح ناشرة تقلل من الإبهار الضوئي الناتج عن الضوء الشديد الصادر من الفتيلة حيث تطلي بسليكون أو بطبقة تشبه المطاط تقيها من التغير السريع بتأثير الحرارة وتحمي الزجاج من الشرخ ومن التفتت عند انكسارها . وتسمى هذه المصابيح ذات الأداء الشاق باسم rough duty كما توضع أحيانا فتيلة مقاومة للاهتزاز ويسمي المصباح في هذه الحالة مقاوم للاهتزازات Vibration Resistance ويمكن تصنيع هذه المصابيح عند درجات حرارة مختلفة لأغراض التصوير كما يمكن إنتاج مصابيح خاصة تنتج كميات هائلة من الضوء تستعمل للعرض Projection. هناك مصابيح الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي الكبير والتي تشع حرارة يمكن توجيهها مثلما يوجه الضوء وهي ذات عمر طويل المدى فعمرها الافتراضي حوالي 5000 ساعة فقط ، وهناك أيضا مصابيح النمو الخاصة Grow Lamps التي تعمل على تكبير الطيف المرئي حتى تنمو النباتات بشكل أفضل.-**

وهذا النوع من المصابيح له استعمالات عديدة كما يمكن تصنيعها بطرق خاصة لتخدم أغراض معينة مثل : استعمالها في مصايد الذباب والحشرات وهو استعمال خاص بالطول الموجي والطيف المرئي للضوء الناتج عن هذه المصابيح - فيركب أحيانا مرشح ضوئي Filter خاص يزيل جانبا من الطيف المرئي لسيطرة ألوان أخرى تجذب الحشرات وهناك أنواعا منها ذات مرشح للاستخدام في حالات خاصة مثل التصوير السينمائي والتحميض الفوتوغرافي .وقد بدأت هذه المصابيح بأسلوب التفريغ التام لمنع الأكسدة وترسيب البقع السوداء علي الجدار الداخلي (ظاهرة التسويد ) ، إلا أنه بخلط الغازات المتباينة تحسن الأداء .

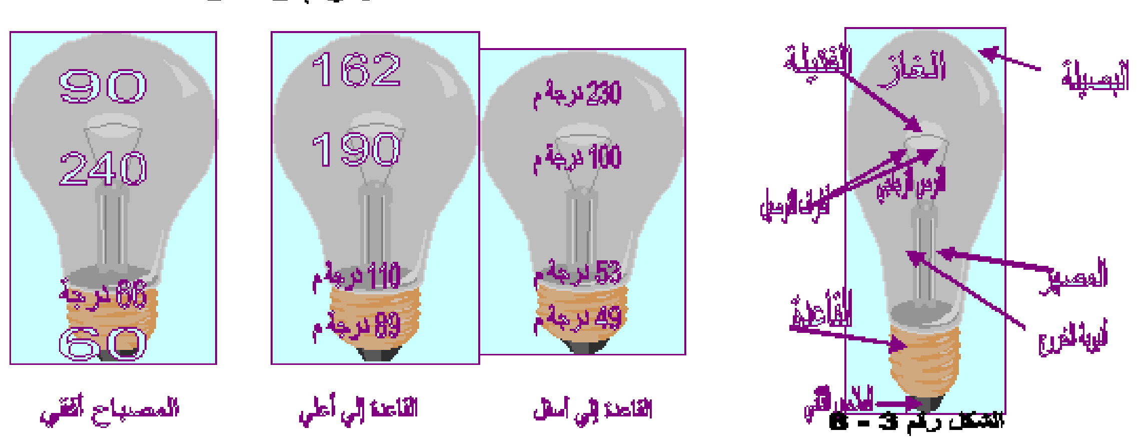
## ثالثا : الملحقات Accessories

تشمل الملحقات كل ما يتعلق بالمصباح ويكون لازما للتركيب أو التشغيل ومن ثم نضع أهم هذه الملحقات علي النحو التالي :

1- الدواية Holder ومنها نوعين هما اللولبية ( قلاووظ ) أو مسمار تبعا لنوع المصباح ومن كل من النوعين يوجد مقننين عادي وصغير إلي جانب تلك الأنواع غير القياسية لتصميمات خاصة .
2- العاكس Reflector وهو ما يدخل في التصميم لحساب شدة الإضاءة الكلية والتي تتضمن كلا من الضوء الأصلي بجانب ذلك المنعكس عن العاكس المستخدم ولذلك منه نوعان هما المرايا mirror وكذلك السطح المصقول glossy surface بمادة شديدة العكس للضوء ويستخدم في هذا المجال كلا من الفضة والألومنيوم حيث أصبح من المتاح معالجة هذه الأسطح لتعكس موجات ضوئية ذات طول موجي محدد وتسمى هذه النوعية باسم عاكس التزيين decor reflector فمثلا لتسليط الضوء علي لوحة فنية تتأثر من الحرارة يمكن التعامل مع عاكس لا يعكس الأشعة دون الحمراء أي يكون قادرا علي امتصاص هذه الموجة الضوئية ونكون قد تخلصنا من الضرر الناشئ عن الضوء .
3- نظم عدسات ضوئية Lens System وهي النظم المتقدمة في مجال الإضاءة حيث تستخدم العدسات للتركيز الضوئي والحصول علي ضوء شديد سواء في بقعة أو نقطة أو علي طول مسار معين وقد ظهرت الكشافات المسرحية نتيجة لذلك ومنها مصباح الفيض الضوء flood light

جدير بنا أن نضع المصابيح هذه في تفصيل لكل مكوناتها كما في الشكل رقم 3- 8 والذي يظهر مكوناته المختلفة وهي :

الشكل رقم 3 - 9




المصباح أفقي القاعدة إلي أعلي القاعدة إلي أسفل

الشكل رقم 3 - 8

1- البصيلة الزجاجية Bulb : تصنع من الزجاج الشفاف ضد الحرارة وتأخذ أشكالا متباينة حسب الغرض من الاستعمال
2- الغاز داخل المصباح Gas : وهو خليط من النيتروجين 10 %والأرجون 90% للمصباح قدرة 40 وات فأكثر
3- المساند السلكية Support Wires : وهي الأسلاك المثبتة في قواعد زجاجية داخلية في البصيلة تربط مع الملف من تنجستن داخل المصباح لمنع تأثير الصدمات والاهتزازات المحتملة
4- مركز تثبيت المساند السلكية Button : هو عامود زجاجي مقوى يثبت المساند السلكية إليه أثناء عملية التصنيع

**5- عامود زجاجي Button Rod : وهو بنهاية زجاجية بها مركز تثبيت المساند السلكية**
**6- عاكس حراري Heat Reflector : وهو المستخدم في المصابيح ذات القدرات العالية لضمان دوران النقاط الساخنة ومنعها من الظهور داخل المصباح .**
**7- المصهر Fuse : وهو لحماية المصباح من زيادة التيار به لأية أسباب خارجية**
**8- الفتيلة Filament : وتصنع من تنجستن علي شكل ملف كهربي لرفع الكفاءة الضوئية**
**9- أطراف التوصيل السلكية Lead In Wires : ولها جهتين يتم توصيل جهة مع الملف من تنجستن والجهة الأخرى مع أطراف الخروج من المصباح وفي الشكل تظهر أطراف الخروج وهي نقاط التلامس مع الدواية لتوصيل الدائرة الكهربية لها وتصنع من النحاس المطلي بالنيكل أو سبيكة منهما .**
**10- أسلاك ربط Tie Wires : وهي لازمة لربط أطراف التوصيل المعدنية معا للاهتزاز .**
**11- القرص الزجاجي Stem Press : وهو ضروري لتثبيت نهايتي أطراف التوصيل السلكية إلي الخارج مع القاعدة وتصنع من سبائك لها ذات معامل التمدد الحراري لذات الزجاج .**
**12- أنبوبة الخروج Exhaust Tube : إنها من الأجزاء الأساسية حيث يخرج منه الهواء أثناء عملية التصنيع ومن خلالها تتم عملية التفريغ المطلوبة.**
**13- القاعدة Base : وهي إما قلاووظ أو مسمار وتعتبر الطرف الملامس الأول في حالة القلاووظ بينما يكون الطرف الثاني للتلامس في منتصفها من أسفل كما هو موضح علي الرسم ويعيب هذا الطراز ارتفاع درجة الحرارة والتي نراها في الشكل رقم 3-9 حيث التوزيع الحراري لوضع المصباح أفقيا أو رأسيا سواء القاعدة كانت إلي أسفل أو إلي أعلي وجميع درجات الحرارة محددة علي الرسم بالدرجة المئوية وكلها معطاة من نتائج قياسات عملية عن مصباح بقدرة 100 وات وارتفاع الحرارة يزيد من احتمالات الحرائق خصوصا مع مجاورة أي من المواد القابلة للاشتعال كما يقلل من عمر المصباح، ويتميز هذا المصباح بما يلي :**

**1- لا يتأثر بدرجة حرارة الجو المحيط**
**2- سهولة التحكم في المصباح**
**3- بساطة التحكم في شدة الضوء الناتج منه**
**4- أمانة كاملة في نقل الألوان**

**كما أنه لفتيلة بطول $l$ وقطر d ومقاومة نوعية ρ تخضع لمعادلة الاتزان الحراري التالية :**

**القدرة في الفتيلة = المقاومة × مربع التيار = القدرة المشعة** **(7-3)**

**وهو ما يعني**

$$e\,k\,\pi\, d\, l\,(T_1^4 - T_2^4) = 4\,\rho l\, I^2 / \pi\, d^2$$
$$I = \pi\, d/2\ \{e\,k\,(T_1^4 - T_2^4)/\rho\}^{1/2} \qquad (3\text{-}8)$$

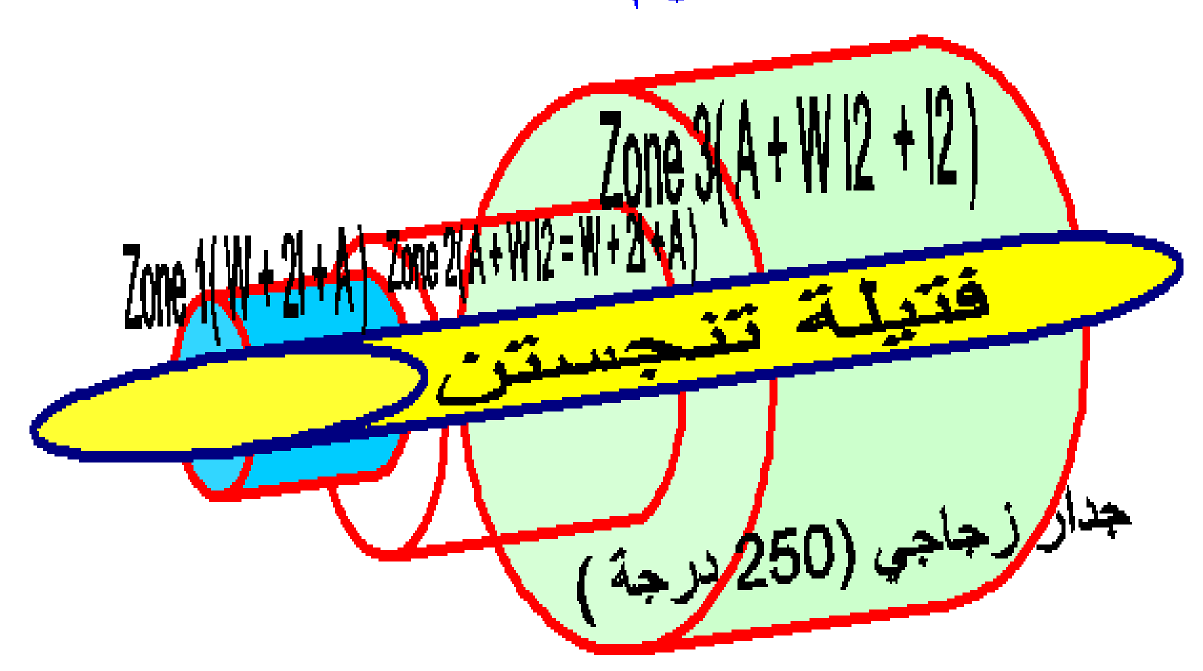
## 3-3 : مصباح تنجستن هالوجين Tungsten Halogen Lamp

**هذا النوع الأحدث من المصابيح التي تعمل بالفتيلة إلا أن كمية الحرارة المتولدة منه أكبر من النوع السابق ( تنجستن ) ولذلك يجب أن يتحمل جدار الأنبوبة درجات الحرارة العالية والضغط المرتفع ، وتتكونز من الزجاج به الفتيلة وبداخلها غاز خامل إضافة إلي كمية صغيرة من أحد الهالوجينات ( مثل اليود أو البروم ) . عندما يسري التيار في الفتيلة التي تسخن وترتفع درجة حرارتها فيبدأ تبخر تنجستن من الفتيلة المتوهجة فتتحد جزيئاته مع جزيئات الهاليد (ولنفترض اليود ) مكونة يوديد تنجستن مثلا وتمنع درجة الحرارة العالية للغلاف (الأنبوبة الحاوية للفتيلة ) جزيئات اليوديد من الترسب على جدران الأنبوبة فترتد إلى الفتيلة مرة أخرى ولكن بسبب الحرارة العالية جدا فإن هذه الجزيئات تتفكك مرة أخرى إلى تنجستن وهاليد حيث يترسب الهاليد على الفتيلة مرة أخرى فلا يضيع شيء من مادة تنجستن وتعرف هذه العملية باسم " دورة استرجاع تنجستن " والتي من خلالها ،من الناحية النظرية ، يتبين أن عمر المصباح لا نهائي وهذا غير صحيح بالرغم من عدم فقدان في تنجستن بينما يترسب تنجستن على محور الفتيلة خلال دورة استرجاع**

**تنجستن بصورة غير منتظمة على كافة أجزائها حيث يزيد الترسيب علي الأجزاء الأكثر برودة منها فتنتج البقع الساخنة والمسببة في احتراق الفتيلة مع الزمن وتكرار هذا الترسيب ، ولهذا نجد أن هذه الدورة لها المزايا التالية:**

**1- التخلص التام من ظاهرة التسويد تلقائيا ( كما هو مبين في الشكل 3-10 ) مما أدى إلي صغر حجم غلاف المصباح الزجاجي إلى 90 % من حجم المصباح المتوهج له القدرة نفسها.**
**2- التمكن من زيادة ضغط الغاز داخل المصباح والذي يصل إلي 3 أمثال ضغط المصباح العادي السابق نتيجة للصلابة الميكانيكية العالية لمادة الكوارتز المستخدمة .**
**3- إمكانية خلط الغازات الأخرى مع الهالوجين حيث تستخدم مادة خاملة خاصة ذات كثافة أكبر من غاز الأرجون (مثل الكربتون والزينون ).**

**الشكل رقم 3 - 10**




## أولا : المزايا Advantages

**تتميز هذه النوعية بعدد من النقاط نحددها موجزة فيما يلي :**

**1- تصلح هذه المصابيح للإضاءة العالية مع الأمانة في نقل الألوان المضاءة ولذلك فهي الأفضل في الإضاءة المسرحية وأجهزة التصوير السينمائي بالإضافة إلي الكشافات المستخدمة في السيارات مثل المصابيح Flood Light كما تستخدم في إضاءة المخازن والملاعب الرياضية ووسائل نقل التلفزيون الخارجية ونراها عاملا مؤثرا في عروض الصوت والضوء بالهرم مثلا .**
**2- تستهلك قدرة كهربية صغيرة لإعطاء الإضاءة العالية .**
**3- زيادة عمر المصباح عن مثيله من المتوهج تنجستن فقط حيث يربو عمر هذا المصباح في المتوسط عن 2500 ساعة**
**4- زيادة الكفاءة الضوئية بنسبة تصل إلي 50 % نتيجة عدم تراكم مادة الترسيب**

**5- الغاز المستخدم ذو ضغط منخفض ومقاومة لها درجة حرارة انصهار مرتفعة ذات مقاومة نوعية عالية بجانب المرونة في التشكيل والقدرة علي التغلب علي الاهتزازات**

**نظرا لهذه المزايا والتمكن من إطالة عمر المصباح إلى ضعف عمر المصباح ذو الفتيلة (2000 ساعة ) فقد زادت قدرته الضوئية إلى 21 لومن /وات مع ألوان أفضل ( Good Color Rendering) ولا تزال هناك صعوبات تقنية تحول دون إنتاج مصابيح تنجستن – هالوجين لها قدرة أقل من 300 وات لاستخدامها في الإضاءة المنزلية .**

## ثانيا : الاحتياطات Requirements

**هناك عدد من التعليمات الهامة للتعامل مع هذا النوع من المصابيح ونفرد لها النقاط الآتية:**

**1- عند تعليق أو تثبيت هذا المصباح يراعى أن لا يقل التوجيه عن ±4 ْ م مع الأفق لأنه إذا كان أكبر من ذلك سيسرع بحدوث ظاهرة التسويد عن الطرف السفلي من المصباح مما يساعد في سرعة احتراق الفتيلة وقصر عمر هذا المصباح.**
**2- يجب الحذر عند لمس المصباح وهو ساخن ليس بسبب الحرارة الشديدة فقط ولكن كي لا ينفجر بسبب الضغط المرتفع داخله وهو في هذه الظروف عرضة للانفجار فعلا مما يجعل شظايا الأنبوبة تتطاير ولهذا يوضع لوح زجاجي أمام هذه الأنبوبة لمنع الشظايا من التطاير عند انفجارها وأحيانا توضع الأنبوبة الأصلية داخل أخرى لمزيد من الحماية .**
**3- ممنوع لمس المصباح الساخن (يسمى عادة بالشمعة) باليد المجردة الباردة ويلزم تنظيفها بمحلول خاص في هذه الحالة . 4- يجب ألا يقل الجهد عن 95 % من الجهد المقنن.**
**5- يلزم ترك فراغ مناسب لسهولة التهوية حول المصباح .**
**6- يجب وضع السطح (الجسم المطلوب إضاءته) أقرب ما يمكن من المصباح.**
**7- يوضع المصباح علي ارتفاع لا يقل عن 2.5 متر من الأرض . 8- تصنع هذه المصابيح من الزجاج الكوارتز لتتحمل الكثافة الحرارية العالية نتيجة انخفاض معامل التمدد للزجاج**

## ثالثا : اختيار الهالوجين Gas Choice

**أنتجت ثلاث أصناف الأكثر شيوعا من هذا النوع هم :**

## النوع الأول : مصباح (تنجستن - يود )

**عمر هذا النوع فاق 1000 ساعة حيث درجة انصهار اليود هي 113 مئوية تقريبا ونقطة غليانه 183 وضغط بخاره هو 49ز3 فقط عند درجة حرارة المحيط المعتاد وهو 25 ْ م .**

## النوع الثاني : مصباح البروم

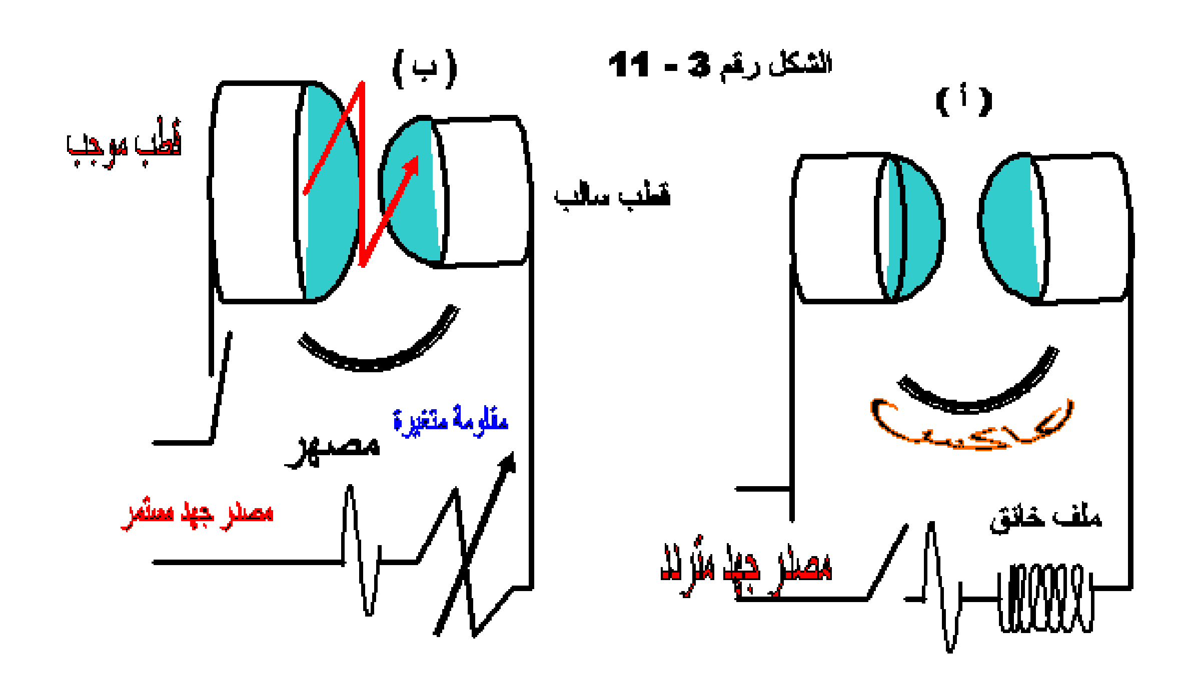
**هذا المصباح والمشابه له يحتاج إلي 1500 ْ م ويعيبه انخفاض بعض النقاط علي الفتيلة عن الحد المطلوب وهو 1500 مئوية خصوصا وأن البروم في حالة سائلة عند 25 ْ م ونقطتي الانصهار والغليان هما - 7.3 و 58.2 علي التوالي وضغط البخار هو 30800 مقارنة مع السابقة وهو يقتصر علي ميزة سهولة التصنيع وبخاصية عدم امتصاص الضوء وذو كفاءة عالية كما أن دورة الاسترجاع قد تأخذ مدى أطول من 200 حتى 1100 ْ م تقريبا .**

## النوع الثالث : مصباح الفلورين

**هو النوع الذي يزيد عمره الافتراضي ويتميز بتقليل البقع الساخنة علي الفتيلة ولكنه عند درجة حرارة عالية أكثر من 400 درجة تتفاعل فيه السليكا بسرعة مما يسرع من عملية التسويد فيتسبب في تقصير عمر المصباح ، إضافة إلي أن كمية الفلورين اللازمة للتفاعل صغيرة جدا وتتراوح في حدود 40 ميكرو جرام لمصباح حجمه 1 سم3 كما أن الفلورين يهاجم أسلاك التوصيل داخل المصباح بصفة دائمة مما يؤدي إلي تآكلها زمنيا .**

## 4-3 : مصباح الفتيلة الكربونية Carbon Arc Lamp

تحتوي المصابيح الكربونية علي فتيلة من السليولوز بعد معالجته كيميائيا بأسلوب خاص فيتحول إلي كربون وللفتيلة شكل حلقي وتبلغ درجة حرارتها 1800 ْ م وفي التوهج تتأثر ذرات الكربون فترحل من الفتيلة إلي الجدار الزجاجي الداخلي مكونة طبقة ماصة للضوء تزيد مع الزمن وهذا يزيد من مقاومة الفتيلة زمنيا فتقل شدة التيار وبالتالي شدة الضوء وهذا من أكثر العيوب فيه لكونها غير اقتصادية ، ومعدل الكفاءة هو 3.6 لومن / وات ويستخدم علي نطاق واسع في العديد من التطبيقات مثل فلاش الكاميرا والكشافات العارضة projectors وفي البحث عن الضوء في دوائر التحكم والأمان الكهربي ، ويظهر منه نوعان هما :




### النوع الأول : مصباح قوس التيار المتردد

هذا النوع قد ورد في الشكل رقم 3- 11( أ ) حيث يبين أن قطبي المصباح متماثلين بينما القوس الكهربي يحدث علي ثغرة هوائية في حدود 3 - 6.5 مم ويمكن زيادة كفاءة هذا المصباح بوضع عاكس ضوئي في مواجهة الشرارة لتوجيه الضوء في الاتجاه المطلوب ويستخدم هنا ملف كابح للتيار من أجل اتزان الدائرة وتوزيع الجهد بالتماثل مع أجزاء الدائرة ، والدائرة تحتاج إلي مصهر مع المفتاح كما هو موضح علي الرسم كوسيلة للوقاية ضد زيادة التيار داخل المصباح كما يغلف المصباح غلاف زجاجي مضاد للحرارة ويكون المقنن لجهد المصباح هنا في حدود 55 - 50 ف ويستعان به في آلات العرض السينمائي .

### النوع الثاني : مصباح قوس التيار المستمر ( الشكل رقم 3-11 ب )

حيث نلاحظ من الرسم أن القطب الموجب الكربوني ضعف نظيره السالب من حيث الحجم بخلاف ما كان بالنسبة للتيار المتردد لأن القطب الموجب يتآين أسرع وأكثر من السالب فيتآكل أسرع من السالب وكي يتساوى العمر فيجب أن

يتضاعف حجم القطب الموجب وهو ما ينتج حوالي 85 % من الضوء الكلي ، ويوضع أيضا مصهر علي خطي التغذية الكهربية بعد المفتاح لحماية المصباح من زيادة التيار عن المقتن وللمصباح غلاف زجاجي واقي من الشرارة ومحسن لأداء المصباح وتستخدم في الدائرة هنا مقاومة بدلا من الملف في حالة التيار المتردد للحفاظ علي اتزان الدائرة والتحكم فيها ويتم تغذية هذا المصباح علي 40 - 50 ف وتصل درجة حرارة القطب السالب إلي 2500 ْم للحصول علي ضوء 5 % بينما ترتفع حرارة القطب الموجب فوق هذا الحد وللحفاظ علي طول القوس الكهربي ثابتا يكون التحكم يدويا أو آليا حسب الأحوال .

الضوء عموما ينتج عن الأشعة المرئية حيث لكل طول موجي يوجد معامل حساسية نسبية $K_\lambda$ وبالتالي تصبح الطاقة المرئية حيث طاقة الطول الموجي $\lambda$ تتحدد بالقيمة $E_\lambda$ لهذا الطول الموجي ولتواجد العديد من الموجات تتحدد الطاقة المرئية $E_\lambda$ $K_\lambda$ بالصيغة

$$E_{visual} = \int_{K_{min}}^{K_{max}} K_\lambda \; E_\lambda \; d\lambda \qquad (3\text{-}9)$$

بينما الطاقة الكلية الناتجة عن كل الموجات معروفة وهي

$$E_{total} = \int_{0}^{\infty} E_\lambda \; d\lambda \qquad (3\text{-}10)$$

وبذلك نحصل علي الكفاءة الضوئية في الصورة

$$E_{total} = \int_{K_{min}}^{K_{max}} K_\lambda \; E_\lambda \; d\lambda \Big/ \int_{0}^{\infty} E_\lambda \; d\lambda \qquad (3\text{-}11)$$

ونجد الضوء المطلوب قد يتبع العلاقة :

$$\text{الضوء المطلوب (لومن)} = \frac{\text{المساحة} \times \text{الكفاءة} \times \text{معامل الفقد الضوئي}}{\text{معامل الاستفادة} \times \text{معامل الاستهلاك}} \qquad (12\text{-}3)$$

يعبر أيضا معامل الفقد الضوئي عن التداخل الضوئي عند استخدام أكثر من مصدر ضوئي خصوصا عند تعددها وهو يعادل 1.23 للتوزيع الضوئي المتجانس وقد يصل إلي 1.5 للتوزيع غير المتجانس مثل الآثار والتماثيل التي تحتاج إلي انعكاسات وظلال علي المحاور الفراغية .

الفصل الرابع

# الإنارة الغازية للشوارع

# STREET DISCHARGE LIGHTING

**يعتبر الضوء الناتج عن التفريغ الغازي من خلال المرور الكهربي داخل الغاز من الظواهر المصاحبة لعملية التفريغ الكهربي ذاته حيث انبعاث الإلكترونات الحرة بغزارة بطاقة عالية خصوصا داخل أبخرة بعض الغازات معدنية الأصل عند الضغط المنخفض حيث تظهر الموجات الطيفية من بعض الغازات مثل النيون فيصاحبها موجات الطيف ما بعد البنفسجي بطول 740 أنجشتروم واللون البرتقالي بطول 5400 وحتى 7000 وما يصاحبها من لون أحمر ويظهر هذا جليا في لوحات الإعلانات الضوئية ولذلك تظهر عملية اختيار الغاز المناسب من أهم العوامل المؤثرة في الضوء الناتج عن التفريغ الكهربي داخل مصابيح التفريغ الكهربي ،. ويكون مناسبا تحويل الضوء غير المرئي إلي الطيف المرئي فمثلا يتحول الطيف فوق البنفسجي إلي المجال المرئي كما هو الحال مع بخار الصوديوم وهناك أسلوب آخر لتحويل الأشعة بالاستعانة ببخار الزئبق بالخلط مع مادة فلورية كمصدر للضوء .**

## 1-4 : خصائص التفريغ الكهربي في المصابيح Performance

**سوف نتعامل مع العملية الهندسية للتفريغ الكهربي من حيث المبادئ العامة دون الدخول في التحليل الرياضي أو الهندسي أو الفيزيقي لأي من مراحلها حيث أن الهدف هو الإلمام بهذا الموضوع من الناحية الهندسية المطلقة ولذلك تختص هذه النقطة بعدد من الظواهر المصاحبة لعملية التفريغ الكهربي ونوجز أهمها علي النحو التالي :**

## أولا : الأشعة اللونية Colors

**حيث أن التفريغ في الغازات يتم تحت ضغط منخفض جدا فيمكن خلط المعدن أو الغاز ليتفاعلا معا كي نصل إلي شدة إضاءة عالية فتواجد الصوديوم أو الزئبق مع الغاز الخامل يرفع من درجة الحرارة عند الانهيار الكهربي وهي بداية الاشتعال فيتبخر أي منهما حسب الأحوال فتظهر الذرات الكافية والتي يتم استثارتها من الإلكترونات الحرة ولذلك تكون هناك ظاهرتين هما تفاعل الغاز الخامل كبادئ للانهيار الكهربي ومعجل لحركة الإلكترونات في مسارات متعرجة فيسبب تسخين الغاز نفسه كما يضاعف من معدل التصادم الإلكتروني لزيادة الاستثارة المطلوبة داخل الغاز. إضافة إلي ما سبق نجد أن التفريغ الكهربي ينتج أشعة ضوئية ويعتمد ذلك علي المعاملات الآتية :**

**جدول رقم 4-1 : الضوء الناتج عن الغازات التي تستخدم في الإضاءة**

| بخار الغاز | نيون | هليوم | صوديوم | أرجون | زئبق منخفض | زئبق ضغط عالي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الضوء | أحمر Reddish | قرنفلي pinkish | أصفر برتقالي | أبيض مزرق bluish white | أزرق مخضر greenish blue | أبيض مزرق |
| لومن/و نظريا | 198 | | 475 | | 248 | 298 |
| لومن/و عمليا | 40 - 15 | | 50 - 40 | | 20 - 15 | 30 - 20 |

1- نوعية الغاز وضغط الغاز
2- حجم التفريغ وهو ما يعني مقتن أنبوبة التفريغ
3- نوعية المعادن أو الغازات المساعدة
4- نوع الطلاء الموجود علي سطح أنبوبة التفريغ

ولهذا يقدم الجدول رقم 4-1 البيانات الخاصة بالألوان المصاحبة للأشعة المختلفة من بعض الغازات التي تستخدم في هذا المجال. كما نجد أن المصابيح تتنوع تبعا للمواد الفسفورية في الطلاء وكذلك المادة الخليط مع الغاز الخامل داخل المصباح كما هو مبين في الجدول رقم 4-2 وفيه تأتي الأنواع المختلفة للمصباح الفلورسنت ويظهر منه أن النوع الأبيض في اللون هو الأكثر شيوعا.

جدول رقم 4-2 : أنواع المصابيح تبعا للمواد المستخدمة فيها

| المادة الفسفورية | المادة المساعدة | نوع المصباح لونيا | اللون المميز الغالب | طول الموجات للطيف |
|---|---|---|---|---|
| تنجستن كالسيوم | رصاص | أزرق | أزرق | 440 نانو متر |
| تنجستن ماغنسيوم | - | ضوء النهار | أزرق مع بياض | 480 |
| هالو فوسفات الكالسيوم | أنتيمون | ضوء النهار | أزرق مع بياض | 480 |
| كبريت الزنك | منجنيز | أخضر | أخضر | 520 |
| هولوفسفور الكالسيوم | انتيمون + منجنيز | أبيض بارد/دافئ/نهار | أصفر فاتح | 590 |
| فلورجرمانات ماغنسيوم | منجنيز | أبيض محسن | أحمر | 660 |

## ثانيا: الإشعال Sparking

يعتمد التفريغ الغازي علي تحويل غاز البدء من وسط عازل كهربيا ( أو ضعيف التوصيل كهربيا ) إلي وسط موصل جيد للكهرباء والتحول من حالة التفريغ المتوهج نتيجة ظهور جهد عالي بين قطبين بعيدين داخل الغاز إلي حالة تفريغ قوس كهربي مستمر ومستقر بين القطبين وهو ما يعني مرور تيار كهربي داخل الغاز وهي حالة إشعاعية لهذا الغاز والتي يصاحبها إشعاعا غير مرئي في الكثير من الحالات ولذلك يضاف مسحوق فسفوري علي الغلاف الزجاجي للمصباح وهو ما يتمتع بخاصية امتصاص هذا الإشعاع وإعادة بثه مرة أخري في موجات مرئية للعين المجردة . عند تسليط الجهد المناسب علي هذا الغاز ينكسر كهربيا ويعرف باسم جهد الإشعال Ignition Voltage كما يصاحب الإشعاع الضوئي هذا إشعاع آخر كهرومغناطيسي وهو ما يتغير بتغير الغاز البادئ أو المسحوق المساعد علاوة علي تأثير ضغط البخار المتولد داخل الأنبوبة ويصحب عملية التأين هنا انخفاضا في المقاومة الكهربية وتكون مقاومة سالبة الخاصية Negative Resistance .

الإشعال يمثل التحول السابق إلي أن يستقر فرق الجهد الكبير بين الطرفين ويدنو إلي قيمة صغيرة مع استقرار التفريغ الكهربي ولذلك نحتاج إلي كابح Ballast لتقليل مقننات الجهد علي المصابيح من هذا النوع ويوضع الكابح لهذا السبب علي التوالي مع المصباح وبذلك يتوزع الجهد 220 ف بين كلا من الملف الخانق ( الكابح ) والمصباح ذاته ، وتقنن درجة حرارته بحوالي 110° م ، وتكون فائدته منحصرة في ثلاث نقاط هي توزيع الجهد علي المصباح والملف وكذلك تجهيز جهد البدء لعملية الإشعال بجانب الحد من قيمة التيار والعمل علي استقراره ويعيبه خفض معامل القدرة في الدائرة وهو ما قد يصل إلي 0.3 في بعض الحالات ، وتتم هذه العملية علي مرحلتين هما :

## المرحلة الأولي : عملية البدء Starting Condition

إنشاء جهد عالي بين طرفي المصباح داخل الغاز فتتولد الشرارة الكهربية بين القطبين ومن ثم تتأين الذرات داخل الوسط وهو ما يستهلك فترة زمنية قصيرة حيث أن جهد انهيار الغازات دالة تتناسب طرديا مع كلا من الضغط والمسافة بين طرفي الأقطاب داخل الغاز وهو ما يعرف باسم قانون باشن كما نستطيع خفض قيمة هذا الجهد من خلال عملية خلط الغازات وهو ما عرف باسم خليط بينينج Penning فتعطي الكسر الكهربي بالشرارة بسرعة وفي الحقيقة فإن المرحلة الأولي هذه تستهلك عمر المصباح بسرعة جدا مقارنة مع عدد ساعات التشغيل الدائم فكلما زاد عدد مرات البدء في الإشعال كلما استهلكت مادة الطلاء

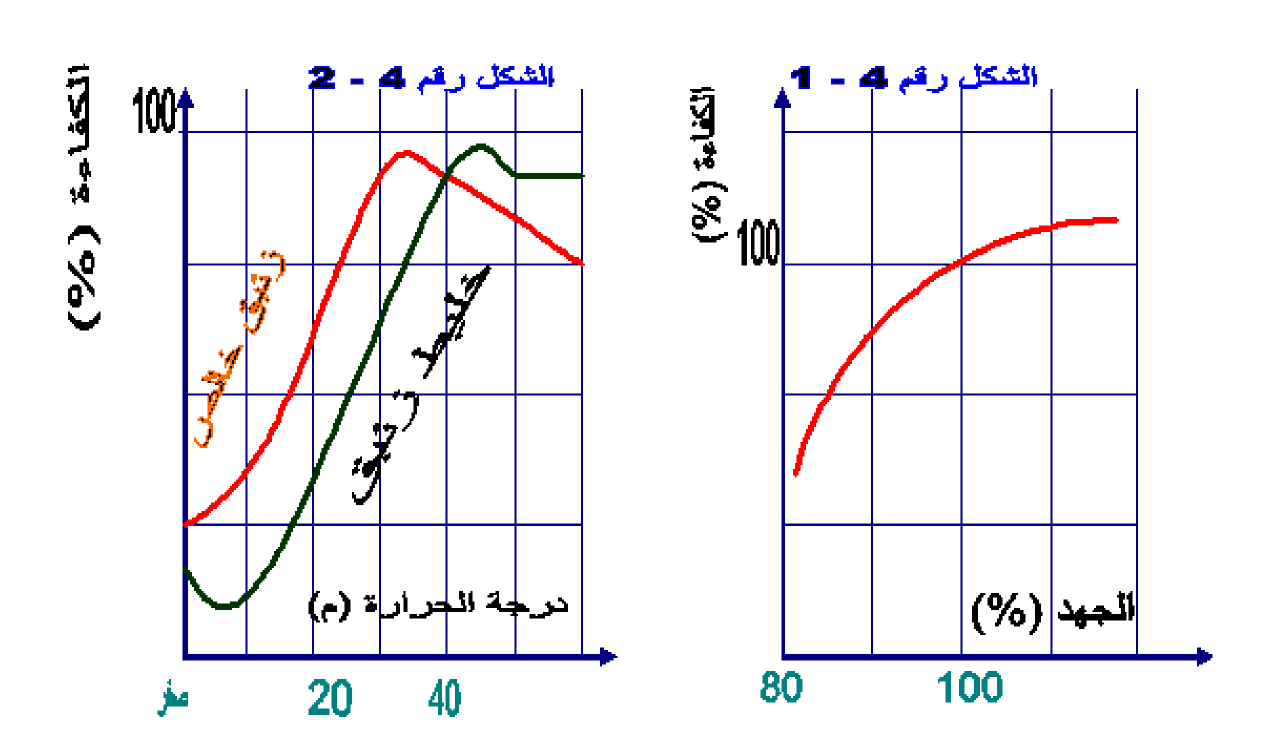
الجدول رقم 4-3 : تأثير عمليات البدء علي عمر المصباح

| ساعات البدء (س) | 1 | 10 | 20 |
|---|---|---|---|
| نسبة ساعات التشغيل المرادفة (%) | 50 | 150 | 200 |

**المعدني علي الأقطاب وبالتالي يقصر عمر المصباح وهو ما يعرف باسم البصق sputtering ، ويبين الجدول 4-3 العلاقة بين عمر المصباح وعمليات البدء وكيفية أن عمر المفتاح يقل كثير مع هذه العملية المستهلكة للمادة التي تبث الإلكترونات الحرة وهي معطاة لعدد ساعات البدء يوميا أو لمعدل بدء معادل لقيمة ثلاث ساعات تشغيل . يتراوح العمر المتوسط للمصباح من 5 إلي 10 ك س تشغيل وهو ما يمكن أن يتبع المعادلة التقريبية**

**عمر المصباح (س) = 3 × عدد مرات البدء × معامل الجهد× معامل الغاز + عدد ساعات التشغيل (1-4)**

**حيث تشمل عملية الإشعاع كلا من التصادم Elastic Collision والإثارة Excitation بجانب التآين Ionization كما ينخفض ناتج الضوء مع التشغيل وكذلك مع تغير الجهد ( الشكل رقم 4-1 ) وتتأثر الكفاءة بدرجة الحرارة كما نراها في الشكل 4- 2حيث يظهر للمصباح المحتوي علي زئبق خالص تكون أقصى كفاءة عند درجة 20 – 30 ̊م بينما لتلك بالزئبق الممزوج تكون عند 35 – 40 مئوية .**




## المرحلة الثانية : حالة الاستقرار Stable Operation

**تتمثل هذه الحالة في الانتقال من الكسر الكهربي مع الجهد العالي إلي التوصيل الكهربي بفرق جهد منخفض وتحول الدائرة الكهربية إلي حالة الاستقرار ، ويتم هنا التسخين الكهربي للأقطاب من أجل الحصول علي البث الإلكتروني المطلوب ، كما لابد وأن يتواجد القصور الذاتي في عملية التسخين هذه لاستقرار المرور الكهربي من خلال الغاز.**

## 2-4 : المصباح الفلورسنت Fluorescent Lamp

**مصباح الفلورسنت من أهم التطبيقات في مجال الإضاءة وبأسلوب التفريغ الغازي ولهذا سوف نتعرض لها بما يلي :**

## المحور الأول : الشكل العام للمصباح General

**يتكون مصباح الفلورسنت من أنبوبة بها غاز الأرجون Argon عند ضغط منخفض وقليل من الزئبق Mercury كما هو مبين في الشكل رقم 4-3 ويعطي إشعاعا بنفسجيا Ultraviolet والتي تتحول إلي الطيف المرئي Visible Light باستخدام المسحوق المطلي علي الجدار الداخلي من المصباح ويظهر حول الفتيلة ( الكاثود ) - والمصنوعة من مادة تنجستن مطلية بمادة إشعاعية emitting - واقي معدني يعمل علي تقليل البقع السوداء كي تترسب عليها بجلا من الجدران إضافة إلي أنها تقلل من تواجد الرعشة الضوئية Flicker وهو ما يأتي نتيجة قلة القدرة المنبع الفسفوري مع الذبذبة المتناسبة مع الجهد وهي التي تطلى بها الجدران الداخلية للمصباح من نوع الفلورسنت، وتتواجد كتلة صغيرة من الزئبق داخل الغلاف للمساعدة علي عملية الإشعال .**

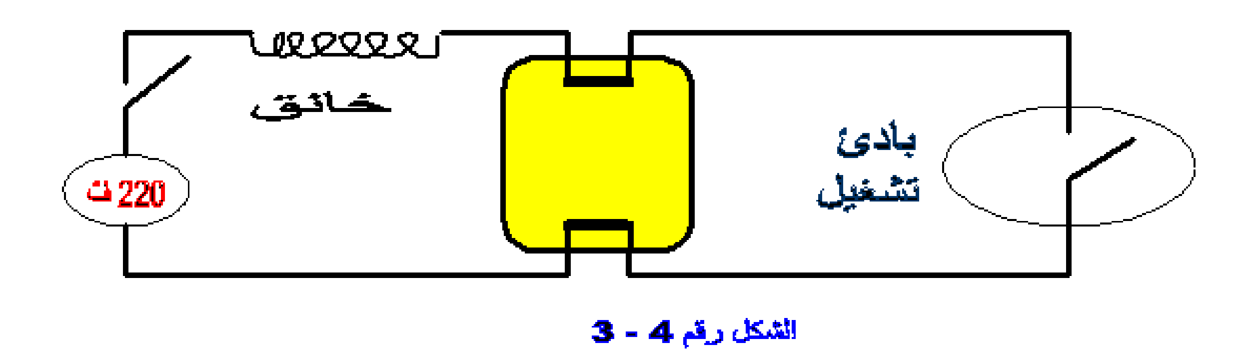
**يلعب الملف الخانق دورا أساسيا في جهد البدء فيرفع قيمته إلي حد انهيار الغاز كهربيا كما يعطي الجدول رقم 4-4 بيانا تقريبيا بالنسبة المئوية من الموجات المرئية الصادرة عن المصباح إلي تلك من ضوء النهار المعتاد وكذلك نسبة تواجد هذه الموجات في المصباح الفلورسنت ، كما أن ظاهرة الارتعاش تعتمد علي التغير المستمر في قدر الطاقة فوق البنفسجية الصادرة عن المصباح وهي التي تقل مع التشغيل المستمر فتظهر حالة الارتعاش الضوئي ، ويظهر من الجدول أن نسبة تواجد الضوء البرتقالي والأصفر والأخضر المائل إلي الاصفرار بجانب الأزرق عالية وتزيد جدا وهو ما يغلب علي ألوان المصباح نسبة إلي ضوء النهار بينما تتواجد هذه الأشعة بنسبة عالية داخل المصباح أيضا ، وهناك مصابيح يتم توصيلها علي التوالي ولكن بأسلوب معين حفاظا علي الصفات الخاصة بالتشغيل لكل مصباح علي حدة .**

**نوعيات اللون المتولدة من المصباح الفلورسنت وهي التي يتم تصنيفها كما جاء في الجدول 4-4 والذي يجدول المادة التي تنتج هذا اللون ويتنوع اللون الأبيض إلي: (ضوء النهار 55 (1000 لوكس ) – أبيض دافئ 29 ( 10 لوكس ) وهو مناسب للطرق - ابيض 33 ( مناسب للمدارس والمصانع والرسم ) – أبيض ديو لوكس 34 ( مناسب للأسواق ) – أبيض ديو لوكس دافئ 32 ( مناسب للمحلات والمطاعم والفنادق ) .**

**الجدول رقم 4-4 : النسبة المئوية للأشعة الضوئية الصادرة عن مصباح الفلورسنت العادي**

| الأشعة اللونية | المسحوق المسبب | نسبة الأشعة داخل المصباح | نسبة هذه الأشعة إلي مثيلها من ضوء النهار | نسبة من الضوء المرئي للنهار |
|---|---|---|---|---|
| أحمر داكن | بورات الكاديوم | 5.48 | 53.3 | 5.1 |
| أحمر | بورات الكاديوم | 9.58 | 82.3 | 8.9 |
| برتقالي | سليكات كاديوم | 12.33 | 105.8 | 11.5 |
| أصفر | سليكات بيريليوم الزنك | 13.02 | 105.5 | 12.1 |
| أخضر مصفر | سليكات الزنك | 13.7 | 105.2 | 12.7 |
| أخضر | سليكات الزنك | 10.96 | 80 | 10.2 |
| أزرق مخضر | تنجستن الكالسيوم | 12.33 | 85.7 | 11.5 |
| أزرق | تنجستن الماغنسيوم | 15.75 | 121 | 14.6 |
| بنفسجي | | 6.85 | 90.9 | 6.4 |

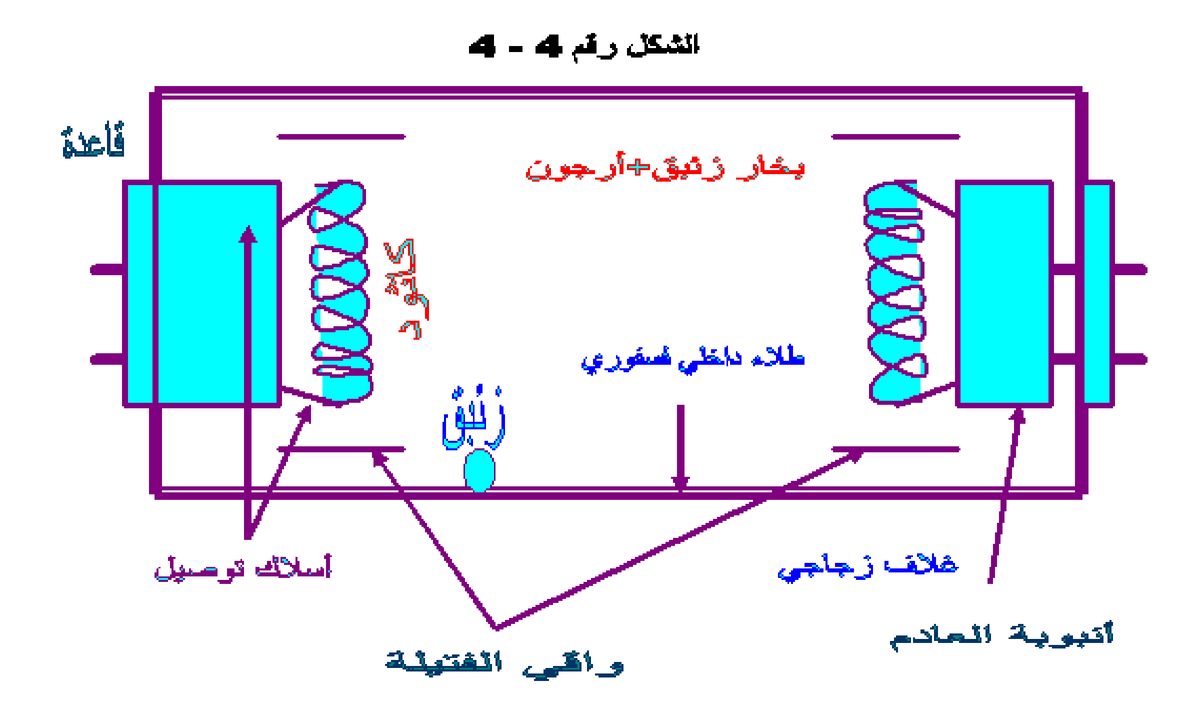
**لذلك نجد المصباح قد يأخذ المسمى باللون والحرارة فنجد مصباح بارد أي أن الفتيلة لا تسخن كثيرا ودرجة الحرارة منخفضة وهناك الدافئ وهو أبيض اللون وكفاءته عالية مع انخفاض في مستوى تحديد الألوان بدقة .**




الشكل رقم 4 - 3

عند تشغيل المصباح تظهر دائرتين فتظهر دائرة البدء ( الدائرة الأولي ) حيث يمر التيار من المنبع إلي الملف إلي الفتيلة ولكنه لا يستطيع المرور داخل المصباح ويجد أمامه الطريق السهل من خلال البادئ وهو السلك المغلق كهربيا فيمر فيه ويعود إلي المنبع مباشرة دون المرور بالمصباح . أما الدائرة الثانية ( دائرة التشغيل ) فهي بعد مرور التيار في دائرة البدء يسخن البادئ فيفصل طرفيه فاتحا الدائرة محدثا جهدا عاليا فجائيا مما يسبب انهيار الغاز كهربيا داخل المصباح فيمر التيار وبذلك تظهر دائرة التشغيل حيث يمر التيار من المنبع إلي الملف فالغاز بالمصباح لأنه توقف عن المرور في البادئ لفتح دائرته ومن ثم يكمل المشوار عودة إلي المنبع مباشرة ( الشكل رقم 4-4 ) . كما يمكن تشغيل المصابيح علي التوازي ففي الشكل 4-5 نجد أن المصباح الأول متقدم بالتيار بسبب تواجد مكثف في دائرته وعادة يكون 3.8 ميكرو فارارد بينما الثاني متأخرا لعدم وجود مكثف مما يساعد علي سرعة البدء وهنا المتاح واحدا لهما.

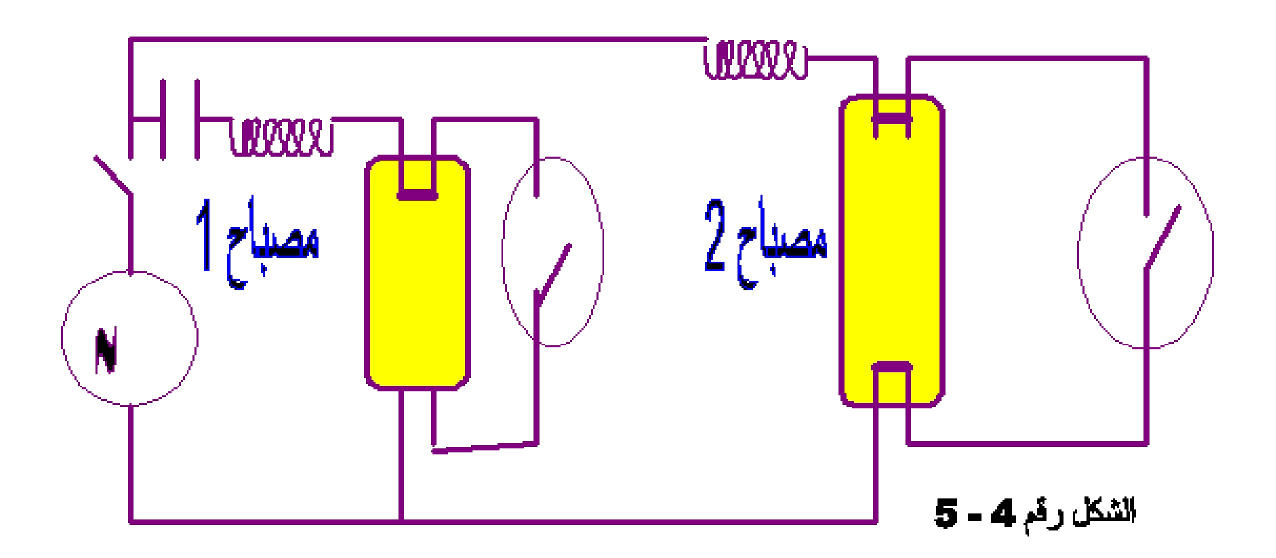
الشكل رقم 4 - 4




## المحور الثاني : بادئ الإشعال Ignition Starter

يقوم البادئ بوظيفتين هما : ( إكمال دائرة التسخين والبداية في عملية الإشعال و فتح الدائرة بعد الإشعال لدائرة التشغيل المستقرة ) ومنه نوعان هما : ( النوع المتوهج Glow Type ) وهو الأكثر شيوعا ويتكون من أنبوبة بها خليط من غاز الهيليوم والهيدروجين أو الأرجون أو النيون عند ضغط منخفض ويتصل طرفي البادئ مع شريحة المعدن المزدوج

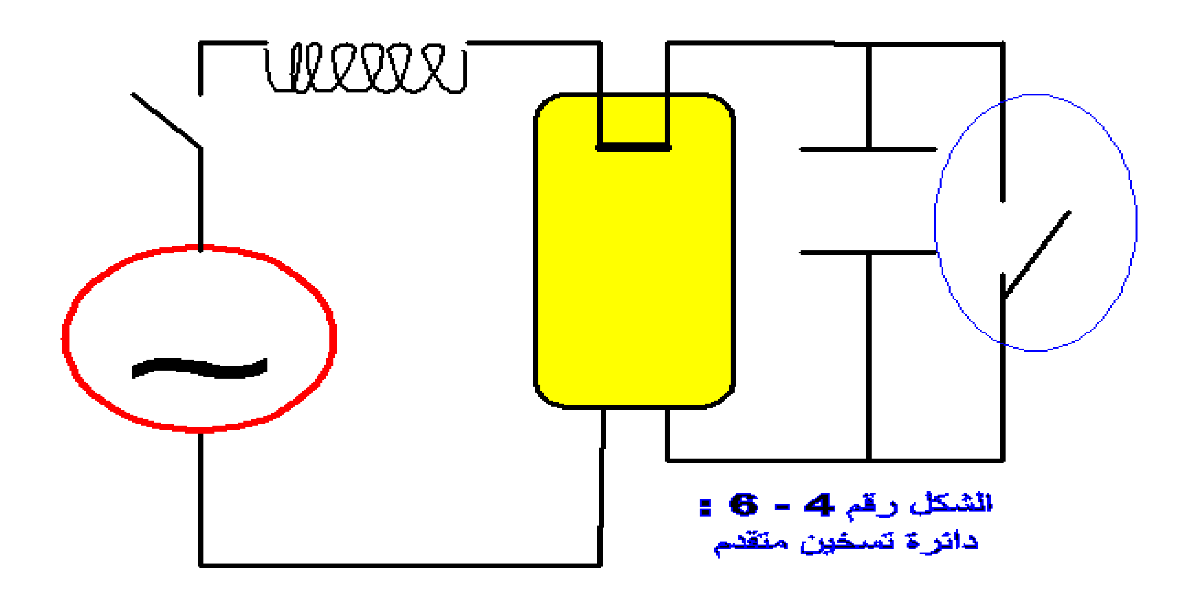
، أما النوع الثاني فهو ( الحراري Thermal Type ) والذي يتم الاستعانة به في النوعيات المتقدمة من المصباح ، كما يمكن تقسيم المصابيح تبعا لدائرة البدء كما يلي :



الشكل رقم 4 - 5

## النوع الأول : مصباح ذو تسخين متقدم Preheat switch start

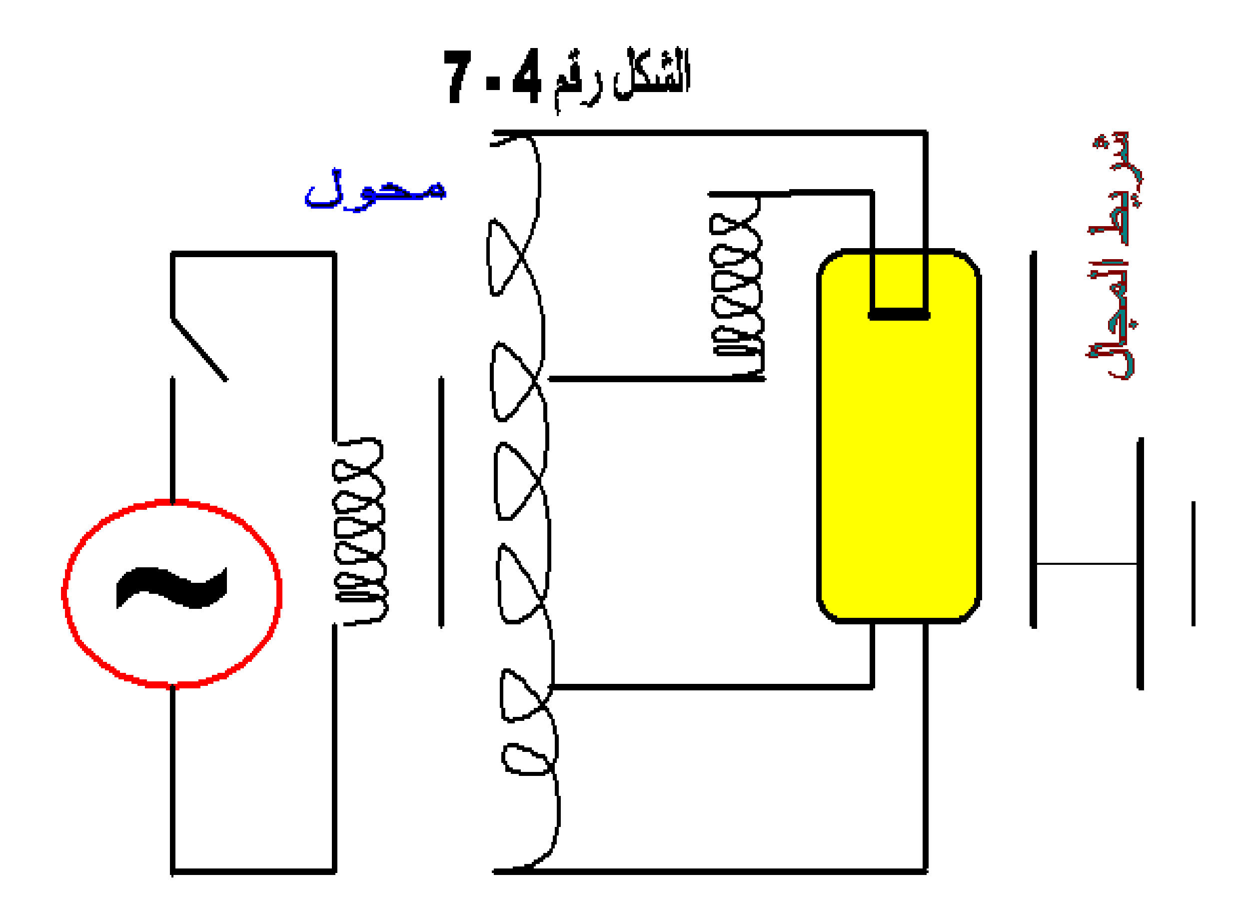
يتم التسخين مسبقا قبل بدء التشغيل كما في الشكل رقم 4- 6 حيث يعتمد الأسلوب في البدء علي شكل البادئ فهو يتكون من أنبوبة زجاجية صغيرة بداخلها غاز خامل (النيون أو الأرجون) وبداخلها طرفي تلامس أحدهما ثابت والآخر متحرك بتأثير الحرارة لأنه مثبت في طرف شريحة ثنائية المعدن وهو يحتاج إلي بادئ خاص فمثلا مع قفل المفتاح الكهربي لتشغيل المصباح يظهر جهد الخط بين طرفي التلامس فيحدث توهج داخل الأنبوبة مثل نظرية التفريغ الغازي تماما فتسخن بالتالي الشريحة ثنائية المعدن فتتمدد وتفتح الدائرة بين طرفي التلامس داخل البادئ مع وجود الملف الخانق فيظهر فارق الجهد العالي بين فتيلتي المصباح وتنتقل الدائرة إلي حالة الاستقرار ، ويتم تركيب مكثف علي طرفي البادئ بمقدار 0.006 ميكرو فاراد عادة لمنع تداخل الإشارات المتراسلة مثل اللاسلكي والأجهزة الإلكترونية عموما حيث يتم التخلص من التداخل بطريقتين هما : الإشعاع المباشر من المصباح إلي الهوائي وفيه نتحكم في الإشعاع بإبعاد الهوائي بما لا يقل عن مترين وإلا وجب تركيب تأريض للأسلاك والأجهزة الإلكترونية عموما . أو عن طريق خط التغذية الخلفية للمصباح .


الشكل رقم 4 - 6 :
دائرة تسخين متقدم

يعمل الملف الخانق هنا علي رفع الجهد إلي الحد اللازم لإشعال الغاز كهربيا داخل الأنبوبة الفلورسنت ويعيبه إنتاج الضوضاء ( بالرغم من تقليلها بشدة في التصميمات الحديثة ) وخفض معامل القدرة في الدائرة بشكل ملحوظ فيزيد من التكلفة الكلية لاستهلاك الطاقة علاوة علي أن الكفاءة الضوئية للمصباح الفلورسنت تعادل ثلاث أمثال كفاءة المصباح المتوهج بذات القدرة الكهربية المستهلكة .

## النوع الثاني : مصباح سريع البدء Rapid Start

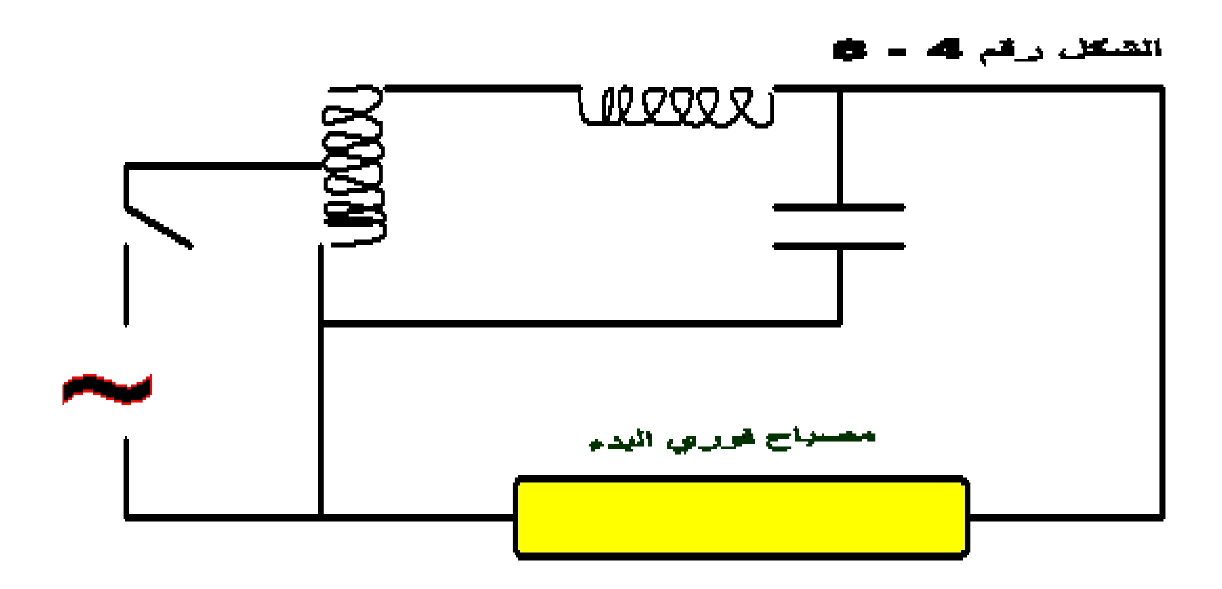
هذا النوع لا يحتاج إلي بادئ ( الشكل رقم 4-7 ) حيث نري مساعد البدء والمكون من شريط موصل بطول المصباح ويركب بجواره ويتصل بالأرض ويتحدد بعد الشريط عن المصباح بقيمة التيار المقنن للمصباح فمثلا للتيار 500 ملي أمبير وأقل يكون البعد 18 مم بينما للتيار الأكبر يكون البعد 25 مم وهذا الشريط يرفع المجال الكهرومغناطيسي بين قطبي المصباح فيساعد في عملية الإشعال ولكنه يجب ألا يتواجد مثل هذا النوع في الأماكن ذات الرطوبة العالية أو يتم التعامل مع النوعيات ذات الطلاء مضاد للرطوبة وغير قابل للبلل، كما يستعان بمحول خصيصا لهذا الغرض إضافة إلي الملف الخانق المعتاد .




## النوع الثالث : مصباح فوري البدء Instant Starting

إنه نوع خاص لا يحتاج إلي بادئ ولا يطلب فيه تجهيز أو تسخين وتكون فيه الفتيلة ذات قطب مفرد بطرف واحد وتعمل الدائرة الكهربية بمجرد توصيل المفتاح وتعطي جهدا عاليا يكسر العزل الكهربي للغاز ويم نزول الجهد إلي الحد المقرر

فورا حيث يتم التحكم في هذا من خلال محول ذاتي خاص كما نراه في الشكل رقم 4-8 وهو ما يجعله مصنعا كوحدة متكاملة وغير مجزأة كما هو الحال بالنسبة للأنواع العادية كما أن مقنناتها قد تختلف عن العادية.




بعد استعراض هذه النوعيات المتباينة من مصباح الفلورسنت نجد المواصفات الجوهرية لبعض منها وهي ما تعتمد علي شكل أنبوبة المصباح فمنها المستقيمة طوليا أو تلك علي شكل حرف U أو تلك الدائرية وكلها أشكال متداولة في الأسواق وتعمل بنجاح ولذلك نجد في الجدول رقم 4-5 هذه الأشكال بمقنناتها العديدة والتي يتم تداولها .

## المحور الثالث : المصابيح الفلورسنت المحسنة Improved Lamps

تعتمد عملية ظهور الأشعة الضوئية علي عدد من العوامل منها مادة الطلاء المعدني علي الأقطاب والغاز والمخلوط معه والمادة الفسفورية علي الجدران والضغط عليه والجهد والدائرة الكهربية وخصائصها ومن هنا ظهرت بعض الأنواع ذات القدرات الأعلى في إنتاج الضوء علي النحو التالي:

## النوع الأول : المصباح ذو التردد العالي High Frequency Lamp

دخل هذا النوع في المجال التنفيذي وظهرت منها مصابيح علي شكل الحرف U ذات قطر أصغر وقد تم تطوير مادة الطلاء الداخلي للغلاف ذات صفات أفضل ، كما تم التغلب علي القدرة الضوئية الناتجة عن طريق دخول الملف الإلكتروني Electronic Control Gear والذي يقوم بتحويل التردد العادي ( 50 هيرتز ) إلي آخر عالي حول20 – 30 kHz ، ومن مزاياه :

1- أقل وميضا عند التشغيل
2- انعدام الرعشة الضوئية Flickering حيث أنها تظهر بتردد مضاعف لتردد المصدر الكهربي عندما يقل المسحوق الداخلي بالأنبوبة، وهو ما يمكن القضاء عليه في المصباح العادي من خلال ثلاث طرق مختلفة هي :

(أ) استخدام مجموعات ثلاثية من المصابيح Triple Lamp Group: تعتمد هنا طريقة التوصيل بأن يوصل كل مصباح علي أحد الأوجه فتكون الزاوية 120 بين كل مصباح والآخر فتقل ظاهرة الرعشة الضوئية بحدة

**(ب) استخدام دائرة مزدوجة من المصابيح Double Lamp Group**

**الجدول رقم 4-5 : مواصفات جوهرية للمصباح الفلورسنت القياسي**

| شكل أنبوبة المصباح | قدرة (بدون ملف خانق/به ) ،وات | الفيض الأقصى (لومن) | الكفاءة (لو/وات) |
|---|---|---|---|
| مستقيمة | 10 / 4 | 120 | 12 |
| | 12 / 6 | 240-220 | 20-18 |
| | 14 / 8 | 350-310 | 25-22 |
| | 14 / 10 | 480-460 | 34-33 |
| | 19 / 13 | 650-500 | 34-26 |
| | 19.5 / 15 | 600-580 | 31-30 |
| | 21 / 16 | 900-750 | 43-36 |
| | 25 / 20 | 1230-800 | 49-28 |
| | 32 / 25 | 1720-1150 | 54-36 |
| | 39 / 30 | 1900-1500 | 49-38 |
| | 51 / 40 | 2600-1750 | 51-28 |
| | 78 / 65 | 4800-2600 | 62-33 |
| حرف U | 21 / 16 | 920-720 | 44-34 |
| | 25 / 20 | 1000-830 | 40-33 |
| | 50 / 40 | 2700-1850 | 54-37 |
| | 78 / 65 | 4050-3300 | 52-42 |
| دائرية | 27 / 22 | 1100-980 | 41-36 |
| | 42 / 32 | 1900-1500 | 45-36 |
| | 50 / 40 | 2700-2150 | 54-43 |

هذا يعني تشغيل المصباحين علي التوازي حيث يتم توصيل مكثف تقديم في دائرة مصباح واحد منهما وبالتالي تظهر زاوية فرق بين المصباحين ( الشكل رقم 4-5 )

**(ج) تشغيل المصباح بالتردد العالي HF Lamp**

هو نوع المصباح الحالي والذي يتميز به عن المصباح الفلورسنت العادي .

3- قلة الضوضاء
4- فورية البدء
5- الكفاءة أعلي
6- أقل استهلاكا للطاقة الكهربية
7- الفقد الحراري بسيط جدا
8- تكاليف الصيانة منعدمة
9- انعدام الوميض أثناء عدم التشغيل وهو من العيوب التي كانت تخص المصباح العادي
10- الإشعاع الحراري أقل بكثير فيساعد علي تقليل الحاجة إلي أجهزة التكييف
11- عمرها الافتراضي طويل مقارنة مع مصباح الفلورسنت العادي

## النوع الثاني : المصباح ذو الضغط العالي High Pressure Lamp

تظهر هذه النوعية بالصغر وقد وصل طولها إلي 20 سم مع الخانق والمكثف وتتميز بما يلي :

1- تستهلك ربع الطاقة المعادلة تقريبا ( الجدول رقم 4-6 ) للمصباح الفلورسنت العادي حيث نجد أنها لا تتعدى 25 % من القدرة اللازمة للمصباح المماثل
2- العمر يصل 15 ضعف الفلورسنت العادي

**3- سهلة التركيب**
**4- لا تحتاج إلي صيانة**

**الجدول رقم 4-6 : مقارنة استهلاك المصابيح بالوات للنوع العادي والمضغوط**

| النوع المضغوط | الفلورسنت العادي | توفير الطاقة (%) |
|---|---|---|
| 9 | 40 | 22.5 |
| 13 | 60 | 21.6 |
| 18 | 75 | 24 |
| 23 | 100 | 23 |

**وتحتاج هذه النوعية من المصابيح إلي بعض التعليمات الهامة وهي :**

**1- عدم كسر الغلاف لأن داخله الضغط عالي ولا يمكن إلقائها بعد انتهاء عمرها مثلا**
**2- لا يجوز تفكيك الغلاف أو المصباح أو تعديلها**
**3- لا يجوز لمس الغلاف عند التركيب ويفضل التعامل بماسك Holder أو جهاز التركيب اليدوي Edison Screw Holder**
**4- ممنوع إدخالها في دوائر الضبط الضوئي المسرحي Dimmer systems أو في التشغيل الآلي**
**5- لا يجوز زيادة الجهد عليها عن المقنن حتى لا يقصر عمر تشغيلها بشدة**
**6- يجب تقليل عمليات البدء بقدر الإمكان خصوصا وأن فترة البدء طويلة قد تصل إلي الدقيقة بينما المصباح فلورسنت عادي يستغرق من ثانية إلي ثلاث فقط**
**7- عدم تركيبها في المواقع المائية والتي بها نسبة الرطوبة مرتفعة**
**8- يفضل استخدامها بعيدا عن الأجهزة الإلكترونية ( مثل المذياع والتلفزيون وأجهزة اللاسلكي ) منعا للتداخل بينهما**
**9- تعمل المصابيح هذه بكفاءة ولها الحماية الخاصة بها ( مصهر داخلي مثل مصباح التوهج )**
**10- يجب ألا تتعدى درجة الحرارة المحيطة عن 75° م**

**يعطي الجدول رقم 4-7 مقارنة عامة بين المصباح المتوهج العادي ( ذو الفتيلة تنجستن ) وبين مصباح الفلورسنت العادي .**

**الجدول رقم 4-7 : مقارنة بين خصائص مصباح الفلورسنت مع مصباح التوهج ( فتيلة تنجستن )**

| خصائص مصباح التوهج | خصائص مصباح فلورسنت |
|---|---|
| الضوء تقريبا طبيعي<br>تمييز ألوان كامل<br>تكاليف أولية قليلة<br>عمر المصباح 700 ساعة<br>تكاليف الصيانة والتشغيل مرتفعة<br>لها نصوع عالي<br>تقل الإضاءة بالتقادم الزمني<br>كفاءة ضوئية ضعيفة<br>الفقد الداخلي مرتفع<br>الضوء ثابت تماما<br>تنخفض شدة الضوء بشدة مع هبوط الجهد | الضوء غير طبيعي ولكن هناك بعض الأنواع تقترب منه<br>عدم القدرة علي تمييز الألوان<br>تكاليف أولية مرتفعة<br>عمر المصباح 4000 ساعة<br>تكاليف الصيانة والتشغيل قليلة<br>لها نصوع بارد وهادئ<br>يقل الضوء بالتقادم الزمني<br>كفاءة ضوئية عالية<br>يتأثر بدرجة الحرارة<br>الضوء قابل للإرتعاش<br>عملية البدء ذات تأثير كبير علي عمر المصباح |

**كما أن المقنن يتباين بين النوعين وذلك من أجل تحديد الظروف المناسبة لكل منهما فنجد في الجدول رقم 4-8 مقارنة بسيطة بين النوعين .**

الجدول رقم 4-8 : مقتن مصباحي التوهج والفلورسنت

| مصباح التوهج | | | مصباح الفلورسنت | | |
|---|---|---|---|---|---|
| نوع المصباح | الكفاءة (لومن/وات ) | النصوع ( cd/m2 ) | نوع المصباح | الكفاءة (لومن/وات ) | النصوع ( cd/m2) |
| فتيلة كربون | 3 | 52 | بكابح تيار | 59<br>39<br>62<br>50 | 0.7<br>0.45<br>0.75<br>0.55 |
| فتيلة تنجستن | 10<br>20<br>25<br>14 | 70<br>200<br>2400<br>12-3 | بدون كابح تيار | 77<br>49<br>80<br>65 | 0.7<br>0.45<br>0.75<br>0.55 |

**يبين من هذه القراءات أن المصباح فلورسنت النوع يزيد في كفاءته كثيرا عن مصباح الفتيلة وكذلك يزيد عمر مصباح الفلورسنت عن الآخر بكثير بالرغم من التكلفة العالية الأولية لمصباح الفلورسنت إلا أنه الأفضل في بقية الخصائص .**

## النوع الثالث : النوع الموفر للطاقة

**دخل مصباح الفلورسنت في التطوير لقدمه في الميدان التطبيقي وظهر منه أنواعا عديدة موفرة للطاقة ونرى في الجدول رقم4-9 حصرا بسيطا لبعض هذه الأنواع المتداولة في الأسواق خصوصا وأنها تتميز بالآتي:**

**1- القطر أقل من النوع العادي**
**2- تسمح بتخزين أكبر عددا لصغر قطرها وبالتالي حجمها**
**3- لا تختلف في التركيب وأسلوبه عن النوع العادي**
**4- توفر الطاقة بنسبة 10 – 15 %**
**5- تأخذ أشكالا متباينة فتسمح بإضفاء لمسة جمالية علي المصابيح**
**6- لا تتأثر بدرجة الحرارة**
**7- يزيد عمرها الافتراضي عن العادي ويصل 7000 ساعة**

الجدول رقم 4-9 : بيان ببعض أنواع مصابيح الفلورسنت الموفرة للطاقة

| القدرة (و) | شكل الأنبوبة | الإضاءة (لومن) | طول أنبوبة (سم) | قطر(مم) | درجة اللون |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | طولية | 1150 /1020 | 60 | 26 | نهار/أبيض |
| 20 | حرف U | 950 | 31 | 38 | أبيض عادي |
| 20 | طولية | 1150/1020 | 60 | 38 | نهار/أبيض |
| 22 | دائرية | 1000/1350 | 21.6 ϕ | 29 | أبيض بارد/عادي |
| 32 | دائرية | /1700/2050 2000 | 30.7 ϕ | 30 | أبيض بارد /عادي / دافئ |
| 36 | طولية | 3000/2500 | 120 | 26 | نهار/أبيض |
| 40 | دائرية | /2300/2900 2800 | 40.9ϕ | 30 | أبيض بارد /عادي / دافئ |
| 40 | حرف U | 2800:2700 | 60.7-57 | 38 | أبيض بارد /عادي / دافئ |
| 40 | طولية | 3000/2500 | 120 | 38 | نهار/أبيض |
| 58 | طولية | 4800/4000 | 150 | 26 | نهار/أبيض |
| 65 | طولية | 4800/4000 | 150 | 38 | نهار/أبيض |
| 65 | حرف U | 4500/3400 | 76.5-57 | 38 | أبيض بارد /عادي / دافئ |

## النوع الرابع : المصابيح المدمجة

**تأتي أيضا المصابيح المدمجة بصفة صغر الحجم الشديد وهي تعمل بكابح إلكتروني أو ذلك التقليدي كما جاء في الجداول السابقة وتتصف بالضغط المنخفض وهي موفرة للطاقة المستهلكة لنفس القيمة الضوئية والكابح قد يكون عاملا بالتيار المغناطيسي ويمتاز بما يلي:**

**1- توفير الطاقة**
**2- تجانس توزيع الإضاءة**
**3- ذات دليل ممتاز في تمييز الألوان**
**4- يرتفع عمر المصباح بشدة**
**5- ينتج بقدرات منخفضة ( الجدول 4-10 ) فيعطي مجالا أكبر للاستخدام .**
**6- أمانة نقل الألوان لأنها تصدر اللون الأبيض مما يزيد من رقعة استخدامها .**

**الجدول رقم 4-10 : بيانات مصباح فلورسنت مدمج ( ديلوكس )**

| قدرة (و) | تيار بدء (ملي أ) | تيار مقتن (ملي أ) | كفاءة (لومن/و) | فيض (لومن) |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 45 | 200 | 50 | 250 |
| 7 | 75 | 350 | 57 | 400 |
| 11 | 105 | 450 | 66 | 600 |
| 15 | 130 | 500 | 82 | 900 |
| 20 | 170 | 600 | 60 | 1200 |
| 23 | 190 | 650 | 65 | 1500 |

**عند استخدام الكابح الإلكتروني تزيد الصفات المميزة ويضاف لها ما يلي :**

**1- ثبات الضوء**
**2- التخلص من مشاكل البدء في الإشعال**
**3- زيادة عمر المصباح إلي 10000 ساعة تشغيل**
**4- عدم ارتفاع درجة الحرارة**

## المحور الرابع : الأعطال الأساسية Basic Faults

**الجدول رقم 4-11 : المواصفات الفنية الأساسية للمصباح الفلورسنت**

| نوع المصباح | قدرة دائرته ( و) | كفاءة الإضاءة (لومن/و) | شدة الضوء الأقصى (ك. لومن) | عمر المصباح (ألف ساعة) |
|---|---|---|---|---|
| سريع البدء | 40 | 70-63 | 2.8-2.5 | 16 – 12 |
| عالي الكفاءة | 60<br>115 | 72-60<br>59-43 | 4.3-3.6<br>6.8-5.6 | 12<br>12-10 |
| موفر للطاقة | 36-34<br>92 | 83-69<br>65-54 | 3-2.5<br>6-5 | 12<br>12-10 |

تتحدد المواصفات الفنية للمصباح بعدد من العوامل يأتي علي رأسها عمر المصباح وهو زمن تشغيل المصباح بالساعة وكفاءة المصباح ضوئيا بوحدات اللومن / وات وشدة الضوء الأقصى وهو ما يظهر في بداية التشغيل لأول مرة ولكن بعد مرور 100 ساعة لاستقرار الأداء ويعطي هذه البيانات الجدول رقم 2-11 لعدد من تلك المصابيح الخاصة والعادية وهي محددة للمصباح ذو الطول القياسي 120 سم وهي كلها مقننات قياسية وواردة في العديد من المواصفات الدولية والمحلية ومن خلال هذه البيانات نستطيع التعرف علي الأعطال بسهولة وهو الهدف من وضع هذه البيانات الآن .

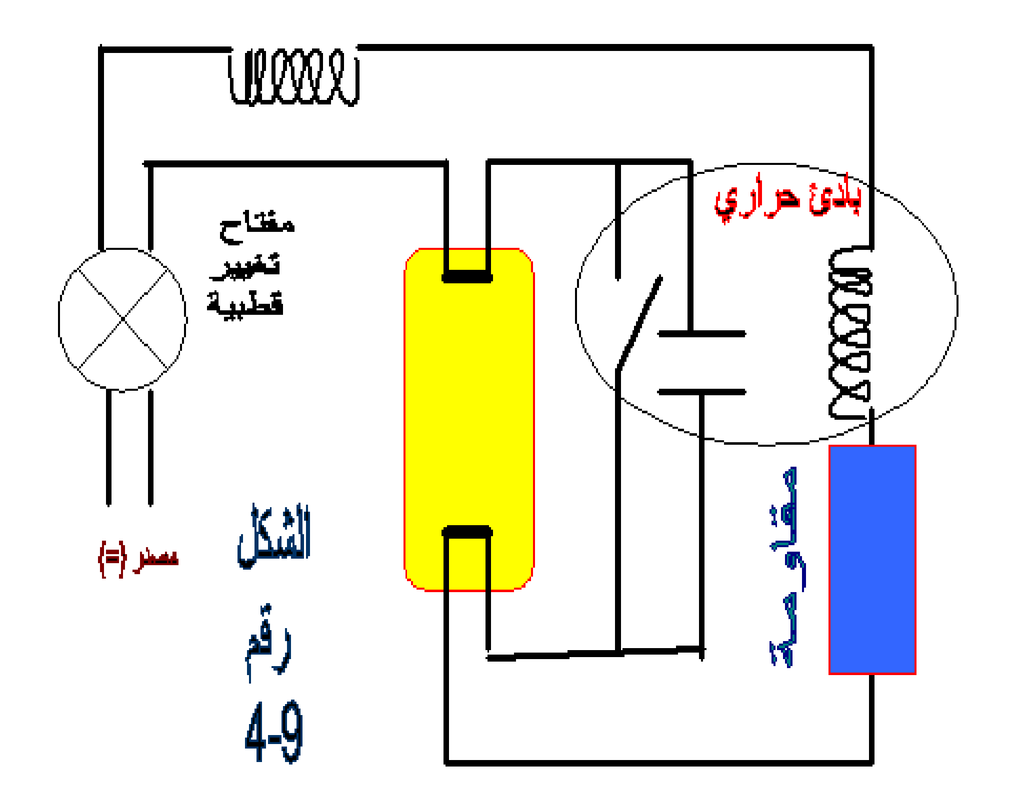
الجدول رقم 4-12 : بيان بأهم الأعطال في دائرة مصباح الفلورسنت

| نوع العطل | السبب المحتمل | العلاج |
|---|---|---|
| لا يضئ المصباح عند قفل مفتاح الدائرة | 1-عدم وجود مصدر تغذية<br>2- انقطاع المصدر<br>3- انفصال مفتاح التغذية<br>4- قطع في الفتيلة<br>5- البادئ لا يعمل<br>6- قطع في البادئ<br>7- قطع في أطراف التوصيل بالدائرة<br>8- أطراف الملف مقطوعة | 1- التأكد من سلامة المصدر<br>2- تغيير بادئ التشغيل<br>3- تغيير المصباح<br>4- التأكد من سلامة التوصيل في الدائرة |
| بداية تشغيل بطيئة | المصباح قديم | تغيير المصباح |
| توهج الفتيلة والمصباح لا يضئ | 1- تلامس طرفي البادئ<br>2- جهد منخفض | 1- تغيير البادئ<br>2- قياس جهد المنبع |
| احتراق الفتيلة عند البدء | احتراق الملف الخانق | تغيير الملف |
| قصر عمر المصباح تكراريا | ارتفاع جهد المصدر | التأكد من قيمة الجهد ووضع منظم للجهد |
| رعشة ضوئية بسيطة | عمر تشغيل طويل | تغيير المصباح |
| الضوء متحرك في المصباح | المصباح جديد | الانتظار فترة تشغيل أطول حتى الاستقرار |
| الرعشة الضوئية عند الفصل أو التوصيل | 1- ظهور بقع سوداء<br>2- عمرا لمصباح انتهى<br>3- انخفاض جهد المنبع<br>4- عيب في البادئ<br>5- ربط وصلات غيرجيد | 1- تغيير المصباح بعد الكشف عليه<br>2- التأكد من قيمة الجهد<br>3- الكشف علي البادئ وتغييره إذا لزم الأمر<br>4- مراجعة التوصيل الجيد بالدائرة |

**ومن الخبرة العملية الطويلة وما تجمع من أعطال في الكتب والمراجع والكتالوجات نجد الجدول رقم 4-12 يعطي حصرا لأهم الأعطال في دوائر المصباح الفلورسنت مجدولا للأسباب وكيفية التعامل معها ونظرا لأن هذه المصابيح بسيطة فالتعامل معها سهل**

## المحور الخامس : مصباح التيار المستمر D C Lamp

يمكن لمصباح الفلورسنت العمل علي الجهد الثابت ( غير المتردد ) إذا ما تمكنا من كسر العزل الكهربي بين الفتيلتين عند طرفي المصباح في وجود جهد بسيط كاف علي طرفي المصباح وهو ما يمكن أن يتم من خلال مقاومة ( لها قيمة مقننة تبعا لقدرة المصباح كما هو مجدول في الجدول رقم 4-13 ) ، وتدخل الدائرة علي التوالي لتقلل الجهد هذا ولكنها تستهلك الطاقة ويعطي الشكل رقم 4- 9 الدائرة الكهربية لمثل هذا المصباح وكيفية الأداء ، ففيه نجد أن الكفاءة الضوئية سوف تقل عن مثيله من العامل علي التيار المتردد إلي النصف نتيجة استهلاك الطاقة المماثلة في المقاومة التي تدخل في الدائرة علي التوالي.




الجدول رقم 4 -13 : المقاومة المقننة للمصباح العامل علي الجهد المستمر

| طول أنبوبة | 120 سم | | | 60 سم | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقنن المصباح | 80 وات | 40 وات | 30 وات | 40 وات | 20 وات | 15 و |
| 200 ف | 103 | 208 | 264 | 116 | 182 | 235 |
| 210 | 116 | 235 | 293 | 128 | 208 | 264 |
| 220 | 123 | 264 | 330 | 147 | 235 | 293 |
| 230 | 147 | 293 | 380 | 147 | 264 | 330 |
| 240 | 166 | 330 | 420 | 166 | 293 | 380 |
| 250 | 166 | 330 | 420 | 166 | 330 | 380 |

كما يحدث تسويد للمصباح بالقرب من الكاثود ولهذا السبب يوضع مفتاح عاكس الاتجاه كي تعمل الفتيلة كقطب موجب مرة ثم كقطب سالب مرة أخرى كي تتساوى كمية الانبعاث الإلكتروني منها علي جانبي المصباح فتستهلك الفتيلة بالتساوي ويكون هذا أطول عمر ممكن للمصباح ، إضافة إلي أن البادئ من النوع الحراري Thermal Starter وتتأثر هذه المصابيح بدرجة الحرارة أيضا ولذلك توضع في جراب صناعي Acrylic Sheath حفاظا علي حرارة المصباح وهو ما يظهر فعالا عندما تقترب الفتيلة من الانتهاء .نلاحظ أن المقاومة تقلل التيار إلي ما دون الأمبير حتى تحمي الفتيلة من الاحتراق والمكثف في الدائرة لمنع التداخل مع الإشارات اللاسلكية والشوشرة الضوضائية ويوجد مفتاح مغير أطراف التوصيل كي يعطي القطب الموجب للفتيلة في أعلي المصباح مرة وللأخرى المرة الثانية وهكذا . يعتبر هذا النوع من أنسب الأنواع لوسائل النقل المتحركة والتي تعمل بالتيار المستمر مثل المترو والترام والقطارات المكهربة أو تلك التي تدار بمحركات الديزل مثل المركبات عموما بجانب الدراجات بأنواعها المختلفة .

## المحور السادس : تحسين معامل القدرة Improvement of Power Factor

يعيب مصباح الفلورسنت خفض معامل القدرة في الدائرة وهو ما يؤثر بشدة علي إمكانية استغلال القدرة كلها أي ضياع قدر كبير منها خصوصا وأن معامل القدرة قد يصل إلي 0.4 أو 0.3 أحيانا ومن ثم نحتاج إلي تعديل أو تحسين هذا المعامل وهناك عددا من السبل للتوصل إلي ذلك ومنها :

## الطريقة الأولي : توصيل المكثف توالي Series Condenser

أن الدائرة بها ملف فتكون دائرة تأخير وهو ما يتمكن التغلب عليه بإدخال مكثف بالدائرة وهو إما أن يتم تركيبه بالدائرة علي التوالي ( الشكل4-10 ) فيعوض قيمة الحث من الملف ويتميز المكثف هنا بأن الجهد عليه صغيرا فيكون سعره أقل بينما يمر فيه التيار المار بالمصباح .ولا يجوز السماح بقيمة المكثف كي تحدث رنين .

الشكل رقم 4 - 10

مكثف تعويض توالي

## الطريقة الثانية : توصيل مكثف توازي Shunt Condenser

يركب المكثف علي التوازي فيعوض التيار الكلي الداخل إلي الدائرة ونري في الشكل رقم 4- 11 أحد هذه الدوائر والتي تعتمد علي المكثف وهي من الدوائر الأساسية والأكثر تطبيقا مقارنة مع مكثفات التوالي لأن الجهد ثابتا ويمكن الاستعانة بمكثفات متواجدة لتطبيقات أخري وليس لمصباح الفلورسنت فقط ويمر التيار هنا تبعا للجهد وهو 220 فولت ويصبح المكثف مقنن في المتداول فعلا ، ويجدول الجدول رقم 4- 14 أهم المقننات لمكثف تحسين القدرة في مصباح الفلورسنت.

الشكل رقم 4 - 11

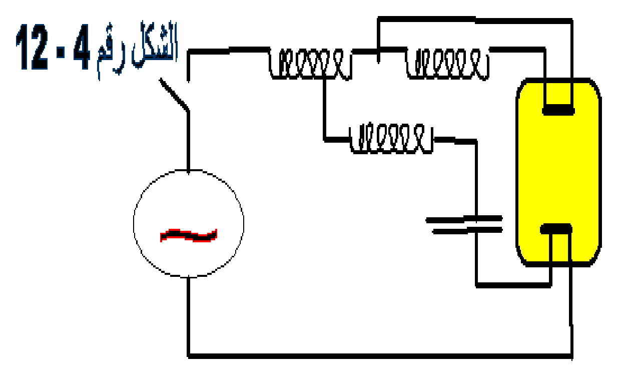
الجدول رقم 4- 14 : مقننات مكثف تحسين القدرة في مصباح الفلورسنت.

| قدرة المصباح ( W ) | 10 | 16 | 20 | 25 | 30 | 40 | 65 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سعة مكثف توازي (µF ) | | | 3 | | | 4.5 | 7 |
| سعة مكثف رنين VAR ) | 30 | 40 | 80 | 55 | 70 | 70 | 110 |

ويمكن هنا تركيب مكثف واحد لمجموعة من المصابيح علي منبع واحد فتوفر في عددهم وفي استهلاكهم أيضا وفي بعض الأحوال تكون الناحية الاقتصادية هي الغالبة فيتم تفاضل تركيب المكثف علي جهة 11 ك. ف. أو ناحية 220 / 380 ف حسب القدرة الإجمالية لمجموع مصابيح الفلورسنت العاملة داخل النطاق .

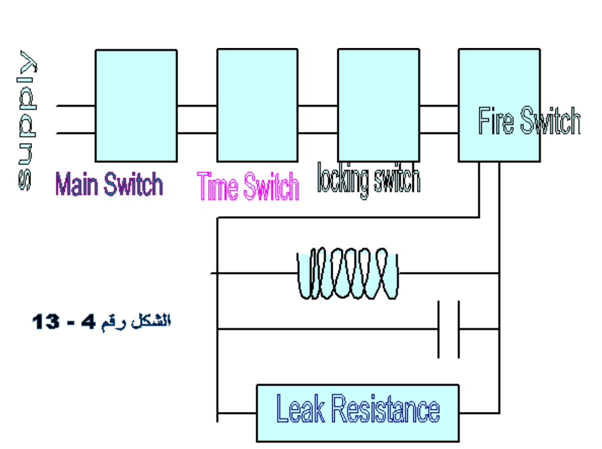
## الطريقة الثالثة : دائرة شبه رنين

يعطي الشكل رقم 4-12 دائرة الرنين مع التسخين المسبق وهي تعرف باسم دائرة شبه الرنين وتستخدم بكثرة في الإنشاءات الصناعية وكذلك في المحال التجارية والمكاتب الكبرى لتوفير الطاقة بها


الشكل رقم 4 - 12

## 3-4 : مصباح النيون Neon Lamp

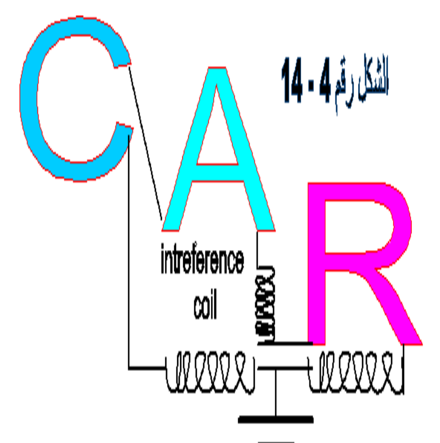
**يعتبر مصباح النيون نوعا من هذه المصابيح التي تعمل بالتفريغ الغازي ولها من الخصائص الفريدة الهامة منها :**




الشكل رقم 4 - 13

**1- جهد تشغيل عالي يصل إلي 5 ك. ف.**
**2- قطر الأنبوبة صغير جدا ( 10 - 30 مم )**
**3- التيار ضعيف جدا ( 25 – 150 ملي أمبير )**
**4- الدائرة مؤرضة تماما حماية للأفراد ومنعا للتداخل مع الأجهزة الإلكترونية**
**5- الكابلات والموصلات وجميع الأطراف في الدائرة لا بد وأن تكون جيدة التوصيل مع الأرض**
**6- طول الأنبوبة قصير ويمكن تجميعه ببساطة في أشكال وحروف وكلمات بسهولة تامة كهربيا أو ميكانيكيا ولذلك يستخدم في الإعلانات والديكور وهو الأكثر انتشارا .**
**7- الأنبوبة تملأ بغاز النيون ( يعطي الأشعة الحمراء ) بجانب المساعد من الهيليوم أو الأرجون ( يعطي أشعة زرقاء ) .**
**8- توفير الطاقة بشكل ملحوظ**
**9- توافر الأمان الكهربي**

**يقدم الشكل رقم 4-13 الشكل العام لدائرة مصباح النيون والتي تحتوي علي عدد من المفاتيح المتتالية وهم أربعة حيث يستقبل التيار من المنبع القاطع الرئيسي ويليه القاطع الزمني ثم القفل ثم مفتاح الإشعال حيث يتم التحكم في الدائرة بالأسلوب الكهروضوئي وهو ما يمكن أن نتعامل معه من أجل تقطيع الإضاءة أو التذبذب الضوئي المعهود في وسائل الإعلان الضوئية باستخدام مصابيح النيون .**




الشكل رقم 4-14

**كما نرى في الشكل رقم 4-14 رسما توضيحيا لكيفية توصيل قطع مختلفة من مصباح النيون حيث يتم توصيلها علي التوالي في الدائرة الكهربية ويظهر في الشكل ملفات منع التداخل الكهرومغناطيسي مع الدائرة وهذه النوعية من أبسط الدوائر الكهربية ولذلك فهي منتشرة بشكل ملحوظ علي جميع المستويات الإعلامية ومازالت في المقدمة .**

**يقدم الشكل رقم 4-13 الشكل العام لدائرة مصباح النيون والتي تحتوي علي عدد من المفاتيح المتتالية وهم أربعة حيث يستقبل التيار من المنبع القاطع الرئيسي ويليه القاطع الزمني ثم القفل ثم مفتاح الإشعال حيث يتم التحكم في الدائرة بالأسلوب الكهروضوئي وهو ما يمكن أن نتعامل معه من أجل تقطيع الإضاءة أو التذبذب الضوئي المعهود في وسائل الإعلان الضوئية باستخدام مصابيح النيون .**

**كما نرى في الشكل رقم 4-14 رسما توضيحيا لكيفية توصيل قطع مختلفة من مصباح النيون حيث يتم توصيلها علي التوالي في الدائرة الكهربية ويظهر في الشكل ملفات منع التداخل الكهرومغناطيسي مع الدائرة وهذه النوعية من أبسط الدوائر الكهربية ولذلك فهي منتشرة بشكل ملحوظ علي جميع المستويات الإعلامية ومازالت في المقدمة .**

الفصل الخامس

# مصابيح تفريغ ضغط عالي ومنخفض
# Discharge Lamps of High & Low Pressure

مع ظهور التفريغ الكهربي وما يصاحبه من أشعة مرئية أو غير مرئية والتي تبين إمكانية تحويلها إلي مرئية جعل موضوع التفريغ في الغازات عملا هاما يحتاج إلي المزيد من البحث والدراسة وبعد أن تعرفنا علي مصابيح النيون والفلورسنت نجد أنه من الممكن أيضا دخول غازات أخرى إلي الميدان فيجعل التفريغ بكفاءة أعلي من الناحية الضوئية ولذلك نجد مصباحين هامين قد ظهرا في ميدان الإضاءة مثل الصوديوم والزئبق وقد تطور الأخير بالخلط مع المعادن ومنها ظهرت مصابيح الهاليد كما أن الخواص قد تتباين لذات الغاز أو المعدن المستخدم إذا تغير الضغط داخل أنبوبة التفريغ وهو ما أتاح العديد من التطبيقات لأي من هذه النوعيات وهو الموضوع ما سوف نستعرضه بالنسبة لهذه الأنواع الثلاثة في البنود التالية .

## 1-5 : مصباح الصوديوم Sodium Lamp

يوجد نوعان من مصابيح الصوديوم تبعا للضغط بداخلها نفرد لهما السطور التالية .

### أولا : مصباح الصوديوم منخفض الضغط Low Pressure Sodium Lamp

تعمل هذه المصابيح عند الضغط المنخفض ( حوالي 3 ملي مم زئبق ) وهو الضغط الأمثل لتحويل الطاقة من القوس الكهربي داخل الغاز إلي طاقة ضوئية مرئية وتتكون من :

1- أنبوبة زجاجية علي هيئة حرف U تتحمل درجات الحرارة العالية وتأخذ هذا الشكل كي تقلل من طول المصباح فيكون سهلا في أعمال الصيانة .
2- تحتاج الأنبوبة السابقة إلي غاز قابل للتآين ويعطي أشعة مرئية أو غير مرئية يمكن تحويلها إلي مرئية سواء كان بطريقة مباشرة أم لا ولذلك يوضع بداخلها الصوديوم ( حيث أن نقطة انصهاره أعلي قليلا من الزئبق فنجد أن الحرارة مرتفعة ) والنيون بجانب مادة الأرجون وهو الغاز الخامل وبنسبة 1 % كي يعمل علي خفض جهد التآين في الغاز الناتج مثل بخار الصوديوم حيث تحتاج عملية التفريغ إلي وعاء وغاز قابل للتآين بجهد المنبع المسلط عليه.
3- وسيلة بدء التفريغ الكهربي داخل الغاز حيث توجد الفتيلة وعليها الطلاء من مادة تنجستن كي تساعد علي الانبعاث الإلكتروني من الكاثود وتستغرق عملية بدء التشغيل ما يقرب من 5-10 دقائق وإن كانت مدة طويلة إلا أنها تصلح في الأماكن التي يستمر فيها الضوء والإضاءة لمدة طويلة مثل إنارة الشوارع والأسواق ومواقف السيارات والمخازن وأرصفة المواني والمطارات والسكك الحديدية والمحاجر والمعابر ، ويكون مناسبا أكثر في حالة الضباب حيث يخترق اللون الأصفر هذه الكثافة المعتمة للضباب .
4- توضع هذه الأنبوبة داخل وعاء زجاجي أنبوبي أيضا مزدوج الجدارين حيث الداخلي يطلي بمادة الصوديوم بطريقة متجانسة ومتساوية التوزيع ويجب أن يتجه رأس المصباح إلي أعلي كي لا يترسب الصوديوم أسفل المصباح بجوار القطب ( الفتيلة ) ومن الممكن أن يوضع أفقيا أيضا ، وللمحافظة علي درجة حرارة المصباح يجب منع الفقد الحراري من تيارات الحمل والتوصيل الحراري بالعزل الحراري الجيد وهو ما يسبب وجود هذا الغلاف الزجاجي كما تواجد أكسيد الأنديوم الرقيق (0.31 ميكرو متر سمك ) يعمل علي تحسين كفاءة الإضاءة لأن هذه الطبقة تعمل كعاكس ضوئي خصوصا وأن اللون هنا يكون خاليا من اللون الأحمر فتقل الحرارة ويعطي الجدول3-1 تغير الكفاءة لنوع الأنبوبة ويظهر تعادل القدرات داخل المصباح بالصيغة:

**قدرة الدخل للمصباح = الفقد في الأقطاب + الفقد في التفريغ الكهربي (1-5)**

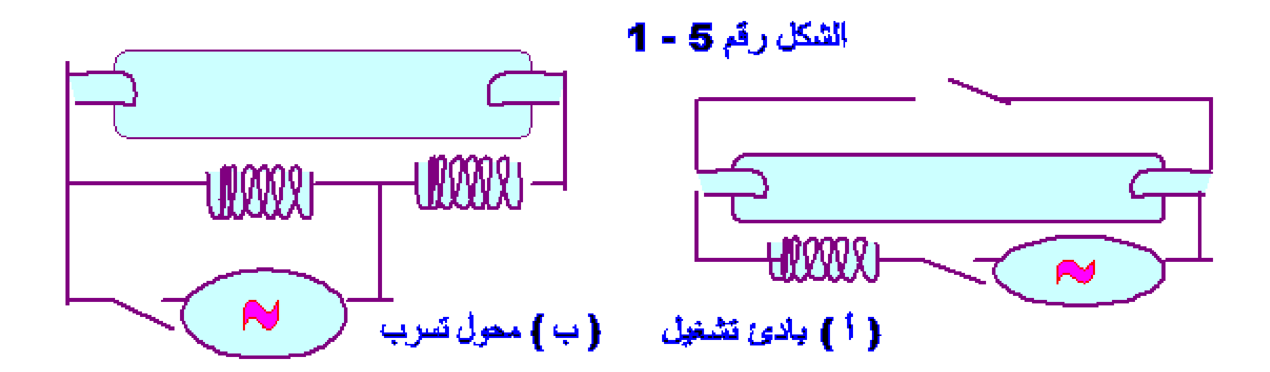
**يتم توصيل هذا المصباح في الدائرة الكهربية مع مقاومة أو ممانعة ( ملف ) من أجل توزيع الجهد علي المصباح وباقي مكونات الدائرة وكذلك من أجل تقليل التيار المار بالمصباح ويعطي هذا المصباح ضوءا يميل إلي الاحمرار في بداية عملية التفريغ ولكنه يتحول إلي اللون الأصفر بعد الاستقرار وسخونة الغاز والذي تصل حرارته إلي حوالي 260 ْم ، ولكن كفاءة الإضاءة مرتفعة حيث تصل إلي 160– 180 لومن / و لأن الإشعاع الصادر له طول موجي يقرب من 589 نانو متر وبذلك يقترب من الأطوال القصوى للضوء المرئي وهذا النوع يستخدم في إضاءة الشوارع لأن أمانة نقل الألوان ضعيفة ومن ثم لا نحصل علي ألوان الأشياء مثل الحقيقة ويوجد نوعان من مصابيح الصوديوم منخفض الضغط هما مصباح وحيد النهايةSingle ended lamp ومصباح مزدوج الأطراف double ended linear lamp فنري أن القدرة تتوزع علي المصباح ومكوناته في الصورة :**

## قدرة الفقد في المصباح = الفقد الحراري + إشعاع التفريغ (2-5)

**الجدول رقم 5-1 : تأثير طلاء الأنبوبة علي كفاءة الإضاءة**

| نوع العزل (طلاء) | أقصى إضاءة (و) | كفاءة (لومن/و) |
|---|---|---|
| أنبوبة غير معزولة | 1150 | 65 |
| أنبوبة محاطة بأخرى مفرغة | 490 | 110 |
| الأنبوبة الخارجية مطلية بأكسيد الصعيع | 200 | 160 |
| الأنبوبة الخارجية بطلاء بأكسيد الأنديوم | 166 | 180 |
| أنبوبتان خارجية بطلاء أكسيد الأنديوم | 110 | 200 |
| أنبوبتان خارجية بطلاء أكسيد الأنديوم والمصدر موجات مستطيلة ( غير جيبية ) | 110 | 220 |

**أما عن دائرة المصباح فنراها في الشكل رقم 5-1 (ب) حيث يتم التوصيل مع محول ذاتي لتجهيز جهد اشتعال (400-600 ) ف، ونري أن الفقد الحراري يمثل بالمعادلة**




## الفقد الحراري = فقد الأقطاب + فقد الحجم والجدران بالطلاء عليه (3 - 5)

**قد يضاف مكثف علي التوازي لتحسين معامل القدرة المنخفض والذي يقترب من 0.3 ، ويضع الجدول رقم 5-2 مقننات هذه المكثفات وهناك طريقتان للتوصيل (الشكل رقم 5-1) : (أ) طريقة التوصيل الحثي باستخدام بادئ تشغيل ( الشكل أ )**

**(ب) توصيل محول التسرب ( محول ذاتي ) لتجهيز الفتيلة للانبعاث الإلكتروني (لشكل ب ) .**

**كما نجد أن الإشعاع هو مصدر الإضاءة ولذلك يمكن تبسيط قيمته في الشكل**

## إشعاع التفريغ = إشعاع الطيف المرئي+ إشعاع ما دون الأحمر (4-5)

**كما أنه بجانب ذلك نجد القدرة في التفريغ الغازي تتمثل في**

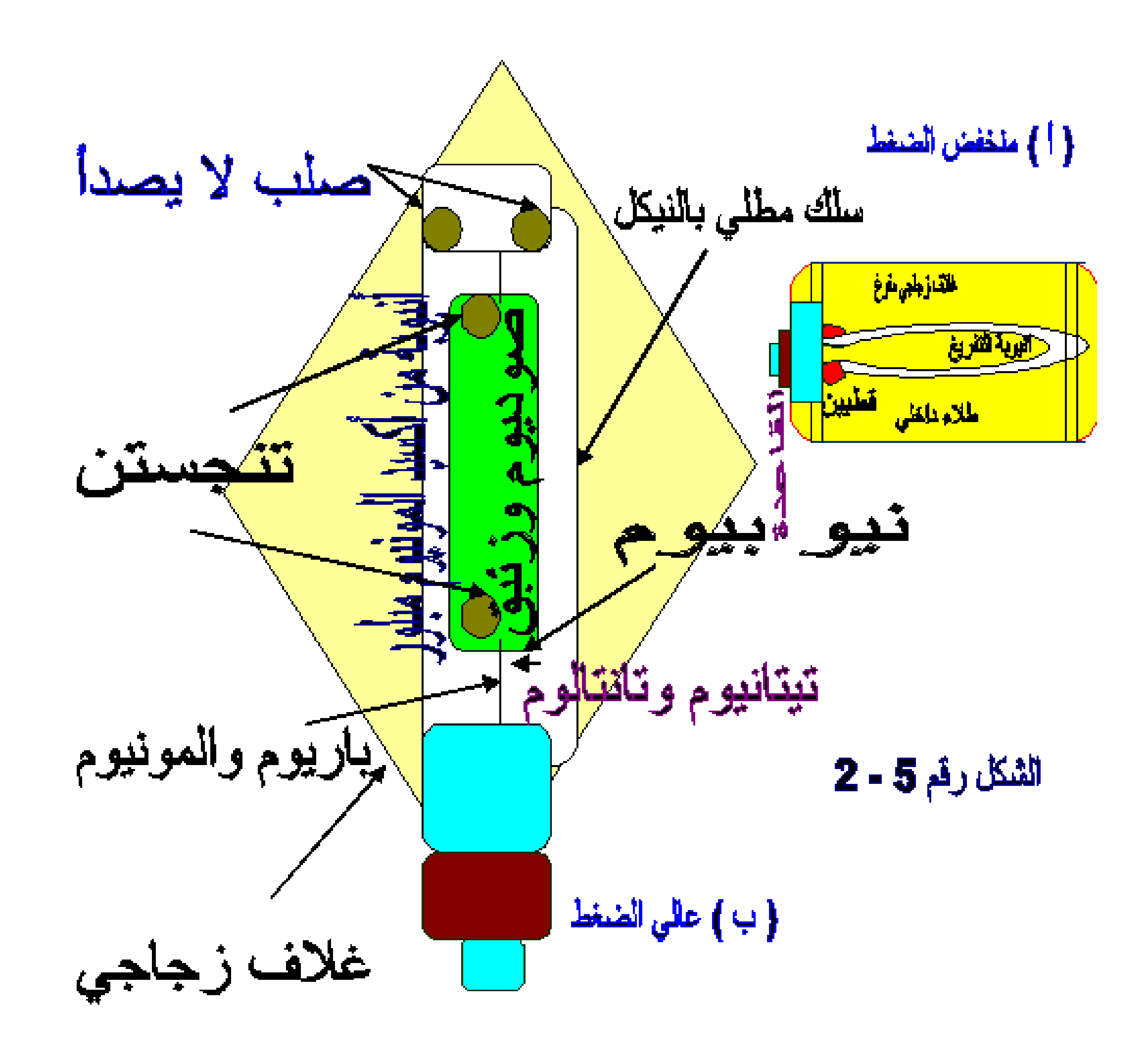
**القدرة في التفريغ الغازي = الفقد في الحجم والجدران بالمصباح + إشعاع التفريغ (5-5)**

**لأن كفاءة الإضاءة عالية تظهر معاملات مؤثرة علي الضوء الناتج عن هذه المصابيح تحتاج إلي التنويه وهي:**

**1- اتجاهات الإضاءة و هي تتعامل مع الفراغ ولذلك يكون هناك ثلاث محاور متعامدة (الكارتيزيان ) وقد تتباين قيمة الضوء لنفس المسافة علي كل منهم**
**2- توزيع الإضاءة السطحية وهي أيضا قد تختلف من مكان إلي آخر مما يكون من الضروري معه التعرف علي هذه الخاصية لتحديد صلاحية هذه المصابيح في الإضاءة المطلوبة .**
**3- الظلال ومنها الأفقية وكذلك الرأسية فالأولي تتأثر بارتفاع المصدر الضوئي عن السطح المضاء وكلما ارتفع المصباح كلما زادت الظلال الأفقية بينما الثانية تعتمد علي زاوية انتشار المصدر الضوئي وتكون جيدة مع الكشافات الضوئية ضيقة الزاوية مثل مصباح البقع الضوئية والمستخدم في الأعمال المسرحية .**

الجدول رقم 5-2 : مقننات مكثفات دائرة مصباح الصوديوم

| قدرة المصباح ( W ) | 35 | 45 | 55 | 60 | 90 | 140 | 180 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سعة مكثف توازي (μF) | 20 | | 20 | | 13.5 ×2 | 13.5 ×2 | 25+20 |
| سعة مكثف رنين ( VAR ) | | 350 | 355 | | 360 | 380 | |



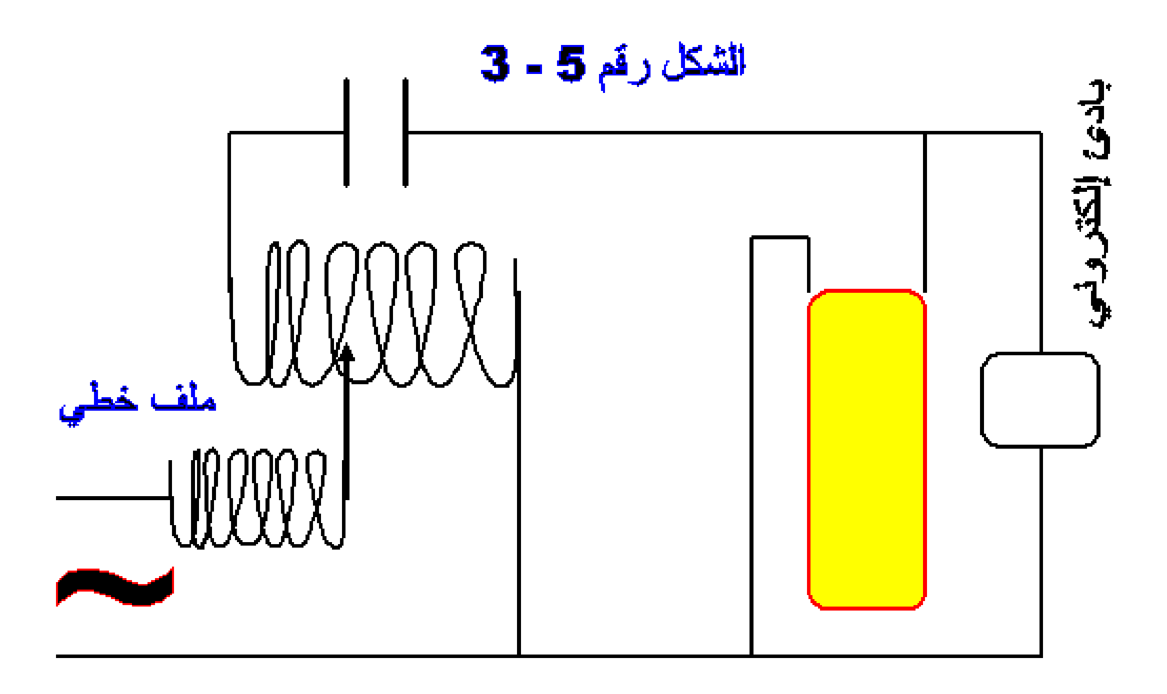

الشكل رقم 5 - 2

**أما بالنسبة لعمر المصباح حيث يزيد من عمره حسن اختيار المواد المكونة له وكذلك تكنولوجيا تشغيله لأن المصباح ينتهي عمرة بتوقف الفتيلة عن بث الإلكترونات الحرة بينما توزيع الصوديوم ودرجة حرارة تشغيله يؤثران في هذا العمر وكلما قلت درجة الحرارة كلما زاد العمر وهو ما يمكن الوصول إليه بزيادة الأرجون ليزيد من عملية التآين فيرفع جهد التفريغ الكهربي striking voltage ، ويتراوح المتوسط في حدود 15000 ساعة كما يقل شدة الضوء بالتقادم الزمني للتشغيل بنسبة تقترب من 15 % . هكذا تتشابه فكرة مصباح الصوديوم منخفض الضغط إلا أن القوس الكهربي في الصوديوم ينتج مباشرة الأشعة المرئية دون الحاجة إلي المادة الفسفورية ولا تعتمد كفاءة الإضاءة علي جهد المنبع مادام مقنن الجهد لا يزيد أو يقل عن 6 % من المقنن ولكن يعيبه طول فترة البدء ( 10 دقائق ) وعند إعادة البدء السريع لا نحتاج إلي هذه الفترة مادام المصباح لم يعود إلي حالة استقرار عدم العمل ويبين الشكل 5- 2 التركيب العام لمصباح الصوديوم منخفض الضغط ويوضح توزيع مواقع بوتقة الصوديوم علي طول مسار الأنبوبة لضمان التوزيع الحراري المنتظم بها حيث يتكثف بخار الصوديوم مقللا من كفاءة الإشعاع ولكن بهذه البوتقة والموزعة كما في الشكل تتجانس الأشعة المتولدة ولهذه المصابيح مقننات محددة بالجدول 5- 3 .**

**الجدول رقم 5-3 : المواصفات القياسية لمصابيح الصوديوم منخفضة الضغط**

| قدرة المصباح ( و ) | جهد البدء (ف) | جهد المصباح (ف) | كفاءة الضوء (لومن/و) | طول المصباح (مم) |
|---|---|---|---|---|
| 18 / 35 | /390 | /70 | 100/133 | 216/310 |
| 55 | 410 | 105 | 145 -140 | 425 |
| 90 | 420 | 115 | 150 -140 | 528 |
| 135 | 575 | 160 | 167 -159 | 775 |
| 180 | 575 | 245 | 183 | 1120 |

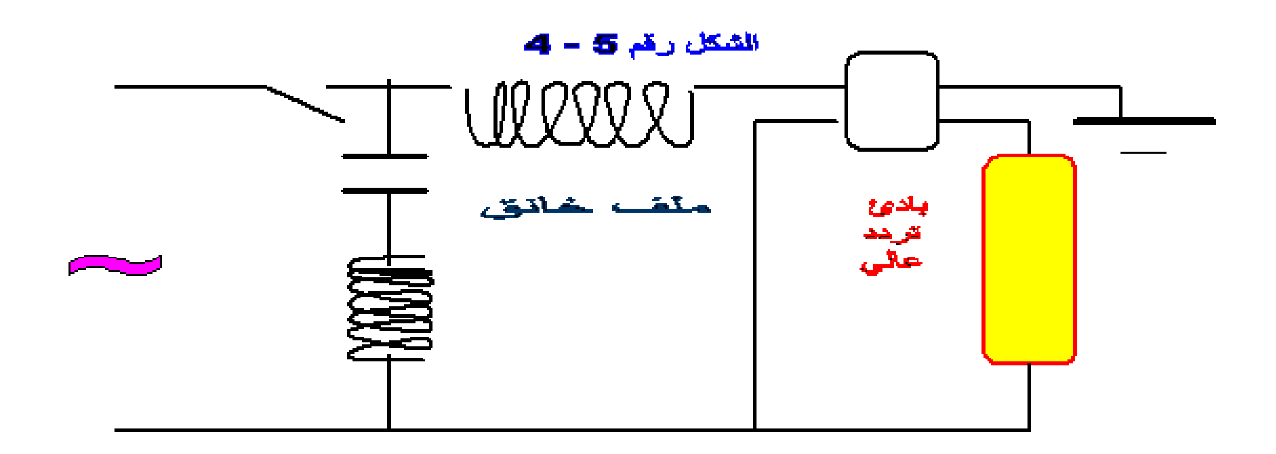
**إضافة إلي ذلك نجد أن مصابيح التفريغ من حيث المبدأ تعتمد علي المكونات ومن المواد المصنعة منها وكذلك البخار ودرجة حرارته والمواد المخلوطة مع الغاز الأصلي مما يشجع العلماء علي المضي قدما في هذا الاتجاه وصولا إلي أفضل ضوء مع أقصي أمانة في نقل الألوان تحت الإضاءة . كان المحول الذاتي شائعا في الماضي ولكن الموجة المستطيلة ترفع القدرة الضوئية وتقلل من جهد البدء فظهر الملف المعروف باسم الكابح الهجيني hybrid ballast وهو يحتوي علي بادئ إلكتروني مستقل وكابح للتيار في صورة ملف ذو حث خطي الخواص بجانب ملف التشبعغير الخطي ومكثف مما يظهر معها الموجات التوافقية (خصوصا الثالثة) وهو ما يسبب نبضات بجهد 950 ف بتردد 50 ك. هيرتز أثناء البدء (الشكل رقم 5-3) وهو ما ينفصل تلقائيا بعد نجاح البدء مع تواجد مكثف لمنع التداخل الموجي. ويظهر الجدول رقم 5-4 المقارنة بين المحول الذاتي والكابح الهجيني لمصباح قدرة 90 وات .**



الجدول رقم 5-4 : مقارنة بين مواصفات المحول الذاتي والكابح الهجيني

| البيان | وزن (كجم) | فقد (و) | 3 rd Harm (%) | كفاءة (لومن/و) | تيار اللاحمل/ تيار المصباح | إعادة البدء |
|---|---|---|---|---|---|---|
| المحول الذاتي | 7.7 | 35 | 40 | 107 | 3 | غير لحظي |
| الكابح الهجيني | 3.3 | 21 | 7.5 | 118 | 0.9 | لحظي |

بعد أن تحسنت الخواص وتقدمت الصناعة لهذه النوعية من المصابيح تداولت بكثرة وعلي نطاق واسع كما نرى في الجدول 5-4 المقنن منها ومواصفاته الأساسية مع إظهار الجهد الأدنى لتشغيل المصباح وهي من الصفات الجوهرية لهذه النوعيات من المصابيح كما أنه يبين أيضا قيمة الجهد علي المصباح وهو ذو علاقة بالجهد من المنبع والذي يتوزع بأسلوب المتجهات علي المصباح والملف الخانق الذي يدخل علي التوالي معه في الدائرة الكهربية .




الجدول رقم 5-5 : مقننات مصابيح الصوديوم منخفض الضغط المتداولة في الأسواق

| قدرة (و) | جهد مصباح (ف) | أدني جهد تشغيل (ف) | تيار (أ) | أقصي ضوء (لومن) | الكفاءة (لومن/و) |
|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 80 | 340 | 0.6 | 3500 | 78 |
| 60 | 105 | 340 | 0.6 | 5000 | 83 |
| 85 | 160 | 400 | 0.6 | 8000 | 94 |
| 140 | 160 | 410 | 0.9 | 13000 | 93 |
| 200 | 260 | 600 | 0.9 | 22000 | 110 |

## ثانيا : مصباح الصوديوم عالي الضغط High Pressure Sodium Lamp

إن الضوء الصادر عن مصباح الصوديوم أحادي اللون ولكن بالنسبة لزيادة الضغط إلي حدود 60 مم زئبق يتحول طول الموجة إلي مدي من الأطوال فيظهر اللون الأبيض الذهبي مع تداخل لموجة اللون الأحمر والأصفر بجانب قليل من اللون البنفسجي والأزرق ، ويرجع اتساع مدي الطيف اللوني هنا رفع درجة الحرارة حتى 1500 ْم وبذلك لزم إحكام غلق أنبوبة التفريغ عند النهايات ومع الأقطاب أيضا لتواجه هذه الزيادة الحرارية العالية ويتم ذلك بمساعدة المعادن والزجاج إضافة إلي اكتشاف مادة أكسيد الألومنيوم ( الأمونيا ) متعدد البلورات والمتبلد وما لها من خصائص وما يتبعها من ضرورة إحكام غلق الأنبوبة . تتكون الأقطاب من ملف من تنجستن مطلي بطبقة إشعاعية ومثبت علي قضيب من ذات المعدن ومتصل من خلال أنبوبة من معدن النيوبيوم ( معامل التمدد مساوي لمعامل أنبوبة التفريغ ) مجوفة لتفريغ الأنبوبة الرئيسية والتي تصنع من مادة السليكون عالي الجودة ومن ثم شحنها بالصوديوم والغاز الخامل ( الشكل رقم 5- 2 (ب) ) ، وتحتوي أيضا أنبوبة التفريغ علي الفتيلة وتملأ بغاز بادئ ( وهو يشبه إلي حد كبير مصباح الزئبق ) كما توضع هذه الأنبوبة داخل غلاف زجاجي مفرغ لعزلها حراريا وحمايتها من التأثيرات الخارجية ويوجد قليل من الزئبق ( ذو الموصلية الضعيفة ) لأنه يرفع الكفاءة الضوئية لسببين هما :

1- خفض الفقد الحراري لأن الموصلية للخليط من غازين تقع بين موصلية كل منهما أي يتم خفضها فعلا ولتقليل الفقد في التوصيل الحراري يرفع ضغط بخار الزئبق إلي ما يقرب من ثمانية أمثال عن ضغط بخار الصوديوم .
2- تقليل الفقد الكهربي للقوس الكهربي نتيجة نوعية البلازما الناتجة في هذه الحالة خصوصا وأن المصباح له مقاومة سالبة للعلاقة بين الجهد والتيار ( negative characteristic ) .

تصل شدة الضوء إلي 80 % من المقنن بعد 6 دقائق من لحظة البدء خصوصا وأنه يحتاج إلي بادئ إلكتروني ( الشكل رقم 5- 4 ) كما يحتاج إلي ثلاث دقائق لإعادة التشغيل والبدء من جديد بعد إطفاء المصباح حيث يتواجد القليل من غاز النيون لتسهيل مهمة بدء المصباح ، وقد ظهر مؤخرا بادئ فوري ولا يحتاج إلي الانتظار وهي عبارة عن أجهزة خاصة صنعت لهذا الغرض وتعتمد علي شكل المصباح وقدرته وجهد تشغيله ( 1.8 – 5 ك. ف. ) ، ويضاف إلي هذه النوعية ناشرا للضوء في حالات الإضاءة الغامرة خصوصا في إنارة الملاعب الكبرى وأرصفة الشحن والمواني والمطارات بالرغم من قلة مستوى نقل الألوان بأمانة كاملة ولكنه صالح عند عدم الحاجة إلي الألوان وضرورة إضاءة الموقع بشكل مكثف ويحدد الجدول رقم 5-6 بعضا من المصابيح المتداولة في الأسواق .

الجدول رقم 5-6 : أنواع مصابيح الصوديوم عالي الضغط المتداولة في الأسواق

| نوع | قدرة (و) | أقصى ضوء (لومن) | قطر متوسط (مم) | أقصى طول (مم) | مكان استخدام |
|---|---|---|---|---|---|
| النوع الكروي | 35<br>70 | 2000<br>4800 | 126<br>126 | 190<br>190 | مناطق سكنية وشوارع داخلية |
| النوع الأنبوبي | 150<br>250<br>400 | 12500<br>23000<br>38000 | 46<br>46<br>46 | 211<br>257<br>285 | شوارع داخلية<br>مواني ومطارات |
| النوع البيضاوي | 35<br>70<br>150<br>250<br>400 | 1850<br>4800<br>12000<br>22000<br>36000 | 55<br>70<br>90<br>90<br>120 | 130<br>156<br>226<br>226<br>285 | شوارع<br>غامرة لأرصفة شحن وملاعب كبيرة |

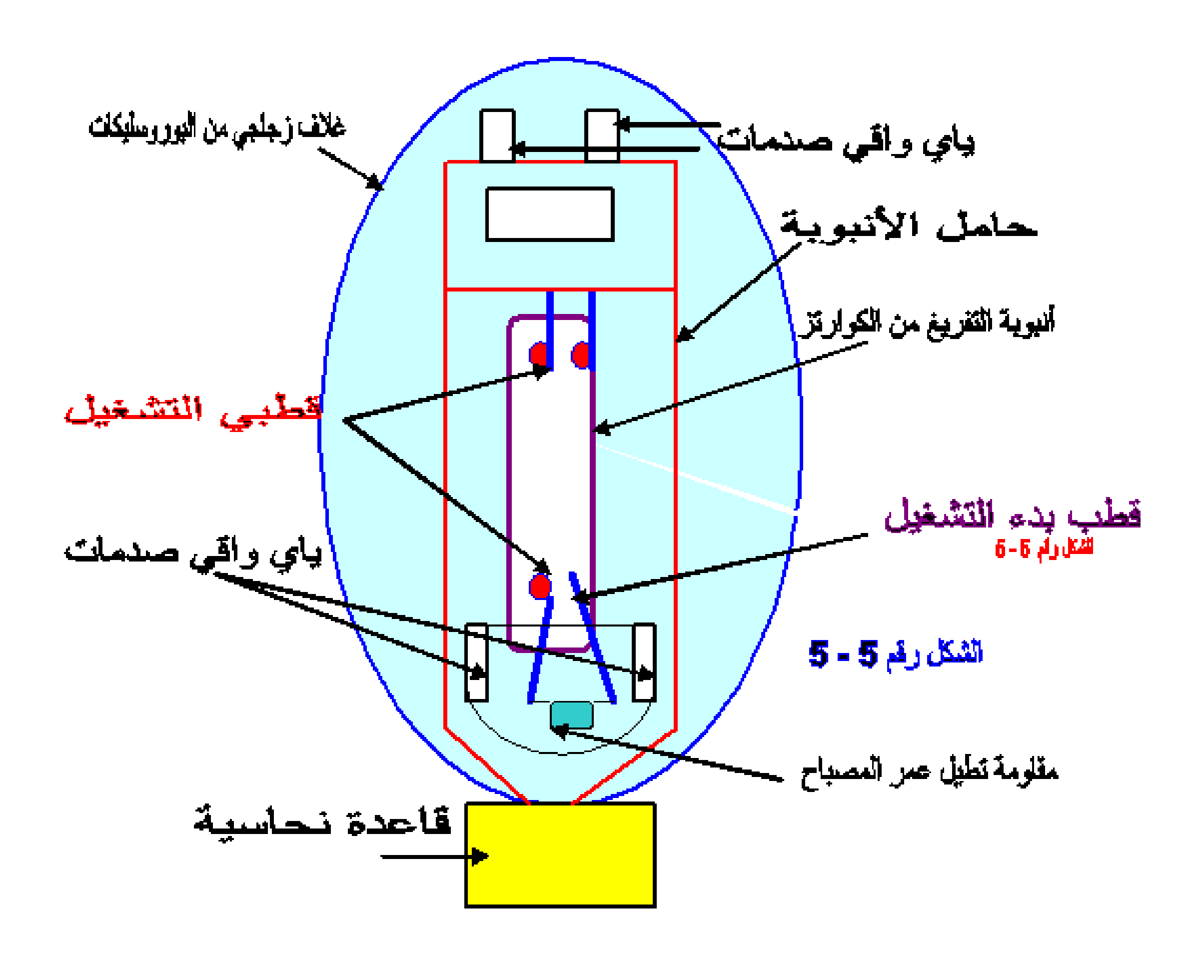
يتأثر عمر المصباح والذي يصل إلي 24000 ساعة ( عمر طويل ) علي عدد مرات البدء خصوصا وانه يعمل علي تردد عالي HF Ignition ومرات ارتفاع الجهد من المصدر ويعتمد إلي حد كبير علي مكونات المصباح ذاته ويتواجد علي الساحة عددا من النوعيات المتطورة نذكر منها مصباح الصوديوم وأكسيد القصدير Tin- Oxide Sodium Lamp وتعرف بالرمز TOXويطغي فيها اللون الأصفر ويصلح للأنفاق والمحاجر والطرق السريعة وهذه النوعية من أكثر المصابيح انتشارا علي المستوى الدولي وليس بمصر وحدها وهو في متناول الجميع أفرادا وصناعة أو إدارات وقد أخذ السعر في النزول باستمرار .

## 2-5 : مصباح الزئبق Mercury Lamp

يرمز لهذه النوعية بالرمز HPMV وهو يعني مصباح بخار الزئبق عالي الضغط High Pressure Mercury Vapor Lamp حيث يشابه مصباح الصوديوم عالي الضغط إلا أن الزئبق يحل محل الصوديوم ويدخل في هذه الصفات بعضا من التعديلات سواء في المادة المساعدة أو أسلوب العمل بها وحتى لا يتكرر الكلام نتناول هذا المصباح في نقاط كما يلي :

### أولا : تكوين المصباح

يتكون المصباح كما نراه تخطيطيا في الشكل رقم 5- 5 مثل مصباح الصوديوم عالي الضغط ويظهر بجانب القطبين الرئيسيين قطبا ثالثا مساعدا في عملية بدء الإشعال وقد يكون هذا القطب المساعد قطبين بدلا من واحد وضغط المصباح يتراوح بين 2 و 10 بار به بخار مع الغاز الخامل وهي مصابيح عالية الكثافة ، ويتم توصيل القطب المساعد هذا مع القطب البعيد في الطرف الآخر من الأنبوبة من خلال مقاومة 10 – 30 كيلو أوم .




## ثانيا : دائرة المصباح

وتأخذ الدائرة الكهربية نفس الشكل الخاص بمصباح الصوديوم كما في الشكل 5- 1(أ) ولكن بدون بادئ خارجي حيث يعمل قطب البدء داخل الأنبوبة بهذا العمل وهو من يقوم بالبث الإلكتروني فيحث التفريغ الداخلي ويستهلك البدء فيها حوالي (4–8 ق) ، ومعامل القدرة لهذه المصابيح منخفضا (0.5) وبالتالي يحتاج إلي مكثف لتحسينه كما في الجدول 7-3 .

الجدول رقم 5-7 : مقننات المكثفات المستخدمة لتحسين معامل القدرة

| قدرة المصباح ( W) | 50 | 80 | 125 | 250 | 400 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| سعة مكثف (( µF) | 7 | 8 | 10 | 18 | (13.5)2 | (20)3 |
| قدرة مكثف ( VAR) | 105 | 125 | 155 | 280 | 385 | 920 |

أما متوسط الكفاءة فهو يقترب من 50 لومن / وات ويحتاج المصباح إلي حوالي 4 دقائق للوصول إلي الضوء المقنن ويحتوي الطيف الصادر عنه علي اللون الأحمر المائل إلي البياض والأبيض المائل إلي الزرقة وتصل قدراتها إلي 2 ك.

**و. بفيض غامر هو 100000 لومن ويطلي الغلاف من الداخل بمسحوق الفلورسنت وصولا إلي الضوء الأحمر وحيث أنها تتميز بالعديد من الصفات والخصائص فهي واسعة الانتشار ، وتستخدم في السكك الحديدية والمطارات والمواني والورش والمراكز التجارية وكذلك الشوارع ويظهر في الجدول رقم 5- 8 عددا من المصابيح المتداولة من هذا النوع وبياناتها الفنية . ويحتاج المصباح إلي مدة زمنية لإعادة التشغيل بعد الفصل وهو ما يعيب هذا النوع ولهذا يستخدم بجانبه بنسبة ضئيلة المصابيح العادية فورية الإضاءة .**

**الجدول رقم 5-8 : مقننات مصابيح بخار الزئبق وأكسيد القصدير المتداولة في الأسواق**

| قدرة (و) | جهد المصباح (ف) | تيار (أ) | أقصي ضوء (لومن) | الكفاءة (لومن/و) |
|---|---|---|---|---|
| 40 | 75 | 0.5 | 4400 | 110 |
| 60 | 115 | 0.7 | 7100 | 118 |
| 100 | 125 | 0.95 | 12500 | 125 |
| 150 | 185 | 0.94 | 20500 | 135 |
| 200 | 265 | 0.9 | 30000 | 150 |

**تعتمد كفاءة المصباح مثل الصوديوم علي كثافة البخار داخل أنبوبة القوس الكهربي ومن الممكن تحسينها باستخدام المواد الفسفورية وبالاستعانة بفتيلة من تنجستن داخل أنبوبة التفريغ لتعمل مثل الخانق ، وتعتمد نظرية عمل هذا المصباح علي التفريغ في الغازات والتصادم الإلكتروني داخل الأنبوبة ولذلك يوجد قطب مساعد لإثارة الإلكترونات ويتميز هذا المصباح باحتوائه علي ألوان الأزرق والأخضر والأصفر وفوق البنفسجي ( 254 نانو متر ) فيزيد من حرارة المكان فتظهر الأبخرة ويزيد الضغط وهو ما يؤدي إلي ضيق مسار التفريغ الإشعاعي فيزيد من الكثافة والضغط فيميل اللون إلي الأبيض حيث يمتص بخار الزئبق الأشعة فوق البنفسجية ليعيد بثها في النطاق المرئي .**

**لذلك يكون لضغط البخار تأثيرا واضحا خصوصا وأن الجهد في البداية يكون قليلا ثم يزيد بعد ذلك ويمكن تحسين هذه الخواص بإضافة اليود ويمكن أيضا ملئ الأقطاب بمادة مشعة مثل الباريوم واسترونتيوم مخلوطا مع مادة thoria كما يتواجد الأرجون في الأنبوبة بضغط 39 – 50 مم زئبق**

## ثالثا : أنواع مصابيح الزئبق

**تتباين أنواع هذا المصباح علي نطاق كبير نتيجة التطورات المستمرة والتقدم التكنولوجي الهائل في الفترة القصيرة الأخيرة ونضع أهمها علي النحو التالي :**

### النوع الأول : مصباح ضغط عالي طرازMBF الضغط الأقل ( 2– 10 جوي )

**يعطي هذا النوع اللون الأبيض المائل إلي الخضرة مع بعض من فوق البنفسجي حيث يحولها الفسفور إلي موجات الأحمر بطول 600 – 750 نانو متر وهي صالحة لإنارة الشوارع .**

### النوع الثاني : مصباح ضغط فائق طراز ME الضغط من 30–100 جوي)

**يصلح للمسارح والتصوير السينمائي والأعمال الصناعية وهو صغير الحجم غامر الإضاءة كروي الشكل**

### النوع الثالث : مصباح ضغط فائق طراز MD الضغط من 50–200 جوي)

**يتم فيه التبريد بالماء نتيجة الضغط الهائل**

### النوع الرابع : مصباح طراز MBER

**مثل السابق مع إضافة عاكس علي شكل قطع زائد والغلاف مطلي بطبقة من أكسيد التانتيوم التي لها انعكاسية 95 % في المجال المرئي وبها طبقة فسفورية عند قمة الأنبوبة فقط وتترك الجهة الأخرى بدون طبقة فسفورية وهنا تقوم الانعكاسية برفع الكفاءة الضوئية بشكل واضح فجعل هذا المصباح يحتل مكانة المصابيح الغامرة أحيانا .**

## النوع الخامس : مصباح طراز MBTF

**هذا النوع يماثل السابق ولكن توصل الفتيلة علي التوالي مع الأنبوبة ومصممة للتحكم في التيار من أجل إطالة عمرها ويتحسن تيار البدء وينخفض الفقد في الجهد عند البدء والتشغيل ويتميز بأنه لا يحتاج إلي أجهزة تحكم إضافية ويعيبه قلة كفاءة الضوء .**

## النوع السادس : مصباح منخفض الضغط نوع خاص طراز M1 or M2

**يستخدم مسحوق الفلورسنت لطلاء الأنبوبة الداخلية بينما تطلى الفتيلة بالأكسيد حيث تسخن في بدء الإشعال فقط وتستمر علي ذلك أثناء التشغيل حيث يشحن الأقطاب ( موصلة علي التوالي مع ملف خانق عبر المصدر ) وينتج جهد مرتفع عند فتح البادئ ومنه نوعان . وقد تتواجد نوعيات خاصة جدا غير شائعة الاستخدام حيث يستعان في صنع المصباح بالزجاج الخشبي في التصنيع فيحجب بعضا من الأشعة وهذه النوعية خاصة وتستخدم هذه النوعية في الأبحاث مثل البكتريا الحيوية والميكروبيولوجي وهي تحتاج إلي نظم تحكم وهي تعمل علي التيار المستمر بجهد 24 ف ، كما أنه هناك الكثير من المصابيح الأخرى متطورة بالنسبة لتلك المذكورة هنا سواء من نوعية التفريغ الغازي أو التوهج ومنها أيضا ما تصنع خصيصا لأغراض محددة غير تلك المذكورة عالية مثل ما يحدث في مجال الأبحاث او المقاومة البكتيرية أو العناية الطبية وغيرها من الميادين العديدة .**

## 3-5 : مصباح الهاليد Halid Lamp

**بعد المصباح المتوهج وما تلاه من أنواع أخرى مثل الفلورسنت ثم الصوديوم منخفض الضغط فالزئبق عالي الضغط وهذا التطور للمصابيح المتتالي لاح في الأفق المزيد من التحسين فظهر مصباح الصوديوم عالي الضغط ومن ثم الهاليد المعدني ، وهذا الأخير يتكون من الزئبق واليود وهو مثيل مصباح الزئبق عالي الضغط ( لهذا لن نعيد الوصف ) مضافا إليه كمية قليلة من اليود ( الهاليد المعدني ) مما يرفع من صفات اللون الضوئي وزيادة الكفاءة الضوئية من خلال طريقة وضع المصباح أفقيا أو رأسيا كما يتم طلاء الجدار الداخلي للأنبوبة بمادة فسفورية من الفلورسنت مثل فاندات اليوتريوم Ytterium Vandate المشع باللون الأحمر وبكفاءة تقرب من 50 لومن / وات ، وهذا النوع تزيد فيه كفاءة الضوء كلما ارتفعت القدرة فالمصباح 2 ك. و. يعطي فيضا قدره 190000 لومن بكفاءة ما بين 75 – 100 لومن / وات ، وهذا المصباح يلزمه أجهزة إشعال لبدء الإشعال منفصلة ( حيث يصل جهد الاشتعال إلي 600 – 700 ف ) بجانب ملف خانق لتوزيع الجهد وتقليل التيار المار به ، ولذلك فهو مرتفع الثمن ويصل عمر المصباح إلي 7500 ساعة وهو أقل بكثير عن عمر مصباح الزئبق ، وهو أيضا ملائم للصناعة والأماكن العامة وفي الأبنية شاهقة الارتفاع وعالية الأسقف ويقدم الجدول رقم 5- 9 البيانات الفنية لمصباح الهاليد المعدني.**

**الجدول رقم 5 - 9 : البيانات الفنية لمصباح الهاليد المعدني**

| القدرة ( وات ) | فيض ( لومن ) | كفاءة (لومن/و) |
|---|---|---|
| 288 / 250 | 17500 | 61 |
| 450 / 400 | 27600 | 61 |

**الهاليد يعتبر مركب ثنائي العنصر لأحد الهالوجينات وعنصر معدني، أما الهالوجين الموجود في هذا المصباح هو اليود ولكن العنصر الآخر يأخذ أشكالا كثيرة مثل الصوديوم أو الثاليوم أو الأنديوم أو السكانديوم أو الديسبروسيوم بينما الهاليد المقابل لهم هو إما يويد الصوديوم أو يوديد الثاليوم أو يوديد الأنديوم وهما ما يتبعان الطيف الضوئي المحدد في الجدول رقم 5- 10.**

**الجدول رقم 5 -10 : الطول الموجي لمحلوط مصباح الهاليد**

| المادة في المخلوط | الصوديوم | الثاليوم | الأنديوم |
|---|---|---|---|
| الطول الموجي المقابل ( nm ) | 589 | 535 | 435 |

هناك المزيج من الصوديوم والسكانديوم وهو الأكثر كفاءة من بين كل الأنواع لأنه أعلى في أمانة نقل الألوان حيث أنه يحتوي علي ألوان عديدة داخل المجال المرئي، فكل هذه الأنواع نافعة كوسيلة لإدخال العنصر المعدني في القوس الكهربي بالضغط العالي لإسراع عملية بخر هذه المعادن دون الحاجة إلي رفع درجة الحرارة وبذلك نستطيع رفع قيمة أمانة نقل اللون الضوئي والذي قد يصل إلي 90 % مع الحفاظ علي كفاءة الإضاءة عالية ولذلك فقد بدأت الصناعة مؤخرا في التعامل مع مخلوط متجانس من هذه اليودات لتحسين خواص المصباح وبالتالي الضوء ، ودائرة تشغيل المصباح همبينة بالشكل 5- 3 لمصباح الصوديوم تماما .

مما سبق شرحه بصورة موجزة نستطيع التعرف علي عدد من الصفات المقارنة بين الأنواع المختلفة من المصابيح ويعطي الجدول رقم 5-11 توزيع الطاقة في مكونات المصباح مقارنة لمصباحي الصوديوم ضغط عالي ومنخفض وقد جاءت الأرقام بالنسبة المئوية نتيجة اختلاف قدرات المصابيح للتعرف علي الخصائص الداخلية في كل منها . تشغيل المصباح يعتمد علي بدء التشغيل الذي يصدر ضوءا من بخار الصوديوم ويبقى الهاليد معدنا باردا أعلي الجدران وترتفع حرارة الجدران فيتحول الهاليد إلي بخار وينتقل إلي المناطق الساخنة ويتداخل مع ذرات الهالوجين والمعدن بأسلوب الحمل الحراري والانتشار داخل القوس الكهربي فتتهيج الذرات بدرجات الحرارة العالية فيصدر الإشعاع الضوئي بينما تستمر ذرات المعدن في التغلغل داخل الأنبوبة فتصل المناطق الباردة (الجدران) حيث تعود وتتحول مرة إلي بخار فيتكرر ما سبق بصفة دورية ، ويحتاج المصباح إلي 6 دقائق أو أقل لينتج 80 % من الضوء المقنن ويحتاج إلي 15 ق قبل إعادة إشعاله. ومصباح الهاليد أطول من مثيله من الزئبق وقد يضاف ناشرا للضوء في المصباح عند الاستخدام في الملاعب الرياضية الكبيرة أو الصغيرة وتستخدم في التصوير التلفزيوني والسينمائي وهذا الناشر الضوئي يساعد علي رفع أمانة نقل الألوان .

الجدول رقم 5-11 : التوزيع المئوي للطاقة داخل بعض أنواع المصابيح

| نوع المصباح | الصوديوم ضغط منخفض | الصوديوم ضغط عالي | هاليد معدني |
|---|---|---|---|
| قدرة الدخل (و) | 180 | 400 | 250 |
| فقد حراري | 62.22 | 50.5 | 64.8 |
| فقد في أقطاب | 12.22 | 6 | 6.8 |
| قدرة تفريغ غازي | 87.77 | 94 | 93.2 |
| فقد حجم وجدران | 50 | 44 | 47.6 |
| فقد إشعاع | 37.77 | 50 | 45.6 |
| إشعاع دون الأحمر | 2.77 | 20 | 15.6 |
| إشعاع مرئي | 35 | 29.5 | 28 |
| إشعاع فوق بنفسجي | - | 0.5 | 10.4 |

مصابيح الهاليد تقترب في الخواص من ناحية التطوير مثل ما حدث مع مصابيح الفلورسنت المدمجة ونجد أيضا مصابيح الصوديوم عالية الضغط المدمجة وأيضا مصابيح الهاليد المعدن المدمجة وهي التي تتميز بامكانية التركيب في الأماكن المفتوحة ومن الهام التنويه علي أنه في حالة تشغيل المصباح علي الجهد 12 ف يكون من الضروري استخدام محول إلكتروني مدمج

أما بالنسبة للمصباح الفلورسنت المدمج والذي يعمل مع الكابح بالتيار المغناطيسي ويعطي زمن بدء 0.5 ثانية وبدون الرعشة الضوئية وتزيد هذه المدة إلي ثانيتين عند درجات الحرارة المنخفضة كما يصل الضوء إلي 40 % من المقنن بعد دقيقتين ونضيف من خصائص الفلورسنت المدمج ما هو آت :

1- يعمل مصباح الفلورسنت المدمج بجهد 207 – 244 ف وفرق حراري –30 حتى50 ْ م .
2- لا يتأثر عمر المصباح بعملية البدء إلا إذا كان إعادة إشعال قبل مضي دقيقتين من الفصل

ولكن مصباح تنجستن هالوجين المدمج يطلي بطبقة عاكسة ضوئية لعكس الأشعة دون الحمراء علاوة علي توفيرها للطاقة المستهلكة وكفاءتها في تمييز الألوان ، وتوجد مصابيح حلزونية مدمجة من نوع الفلورسنت Helix Compact بقدرة 32 وات تعطي 2400 لومن وهي بذلك تنتج ضعف ضوء المصباح المتوهج وتوفر ثلثي الطاقة المطلوبة لأنها ضعف الضوء الصادر عن مصباح متوهج بقدرة 100 وات ومصابيح الحث الكهربي Induction Lamps والتي تحتوي علي قطب أو فتيلة يصل عمر تشغيلها نحو 70 ك س ولذلك يوصي بالاعتماد عليها في الأماكن صعبة الصيانة وتتنوع إلي نوعين :

## النوع الأول : مصباح الحث طراز QL

**يتكون من قلب معدني ( حديدي ) يتركز فيه المجال الكهرومغناطيسي من الملف الابتدائي والملفوف حوله حيث تنتقل الطاقة علي الترددات العالية فيتولد التيار الثانوي الذي يمر في الغاز تحت الضغط المنخفض داخل الغلاف الزجاجي فتتآين الذرات وتشع الموجات فوق البنفسجية فيتحول من خلال مادة فسفورية إلي النطاق المرئي ومن خلالها نستطيع التحكم في اللون الناتج عن الضوء .**

## النوع الثاني : مصباح الحث طراز E

**هنا يستبدل القلب الحديدي في النوع السابق بنوع هوائي والذي يغذي من الترددات العالية ينتج المجال الكهرومغناطيسي في أنبوبة التفريغ فيتآين الغاز ويمر التيار بالمصباح منتجا الضوء وهذا النوع يعتمد علي تآكل الطبقة الفسفورية المستمر مع البدء والتشغيل ، ويدخل أيضا مصباح الهاليد المعدني مع نفس خصائص الكشافات الهالوجينية Halogin Lamp لأنه يحتوي علي اليود وحيث أن اليود والكلور والفلور والبروم كلهم من الهالوجينات فدخول أي منهم مع الغاز الخامل يعمل علي تواجد دورة الاسترجاع السابق الحديث عنها لحماية الفتيلة من الاحتراق والتخلص من ظاهرة التسويد مما يقودنا إلي تصغير حجم المصباح وزيادة عمر المصباح أو الكشاف الهالوجيني ( قدرة حتى 300 وات بجهد 110 أو 220 ف ) والذي يتكون من تنجستن هالوجين ويستخدم بكثرة في الإذاعة الخارجية والملاعب مثل مصباح الهاليد وبالرغم من المحاولات المستمرة لتحويل أي منهما إلي الاستخدامات المنزلية بغرض التوصل إلي الإنتاج المتعاظم .**

**يتواجد علي الساحة الفعلية المصباح الشمسي Sun Lamp الذي يتكون مثل الهاليد والزئبق بتواجد غاز الأرجون ولكن يضاف داخل المصباح قليل من الزئبق حيث يتم توصيل المصباح فتسخن الفتيلة ( تنجستن ) فتشع الإلكترونات ويتآين الأرجون ويبدأ التفريغ داخل المصباح مما يرفع من درجة الحرارة ويتبخر الزئبق فتضئ ، وهو متميز بالضوء المبهر ويستخدم هذا النوع في الإضاءة العامة في الشوارع والمراكز التجارية وبعض منها يستخدم في المستشفيات الكبرى ولها محول خاص لتوصيل الدائرة الكهربية**

## 5- 4 : نظرة شاملة General

**تتميز أغلب المصابيح بعدم اللمعان الفائق وعدم الإبهار وقلة الظلال ويعطي الجدول 5-12 بيانا لبعض المصابيح من جهة اللون ودرجة الحرارة ونتطرق إلي هذه النظرة الشاملة :**

## أولا : أنواع البادئ Starter Type

**نجد أيضا أن العملية المشتركة في مصباح التفريغ الكهربي هي عملية البدء والتي يمكن تقسيمها إلي :**

## النوع الأول : النوع الحراري Thermal Type

**يوجد ملف تسخين مع البادئ فيسخن الشريط المعدني ويفتح الأطراف مسببا توليد جهد عالي فجأة يسبب التفريغ في الأنبوبة ويستمر فتح الأطراف بينما المصباح يعمل ، الملامسات مزدوجة المعدن تكون مغلقة ( غير مفتوحة كما الحال في مفتاح البريق ) وتوضع مع ملف تسخين صغير وعند توصيل المنبع يمر التيار بالكاثود والملف الخانق علي التوالي مسخنا البادئ وترتفع درجة الحرارة لملامسات البادئ فيفتح الملامسات ويقطع التيار في الدائرة فيظهر جهد عالي فجأة بين قطبي المصباح محدثا التفريغ الكهربي بينهما ويمر التيار بسخان البادئ لتظل الملامسات مفتوحة وهو النوع الأكثر تعقيدا عن الآخرين ولكنه مفيد في قصر فترة التجهيز ويصلح لمصابيح الفلورسنت والصوديوم وعمرة يزيد عن عمر المصباح عادة .**

## النوع الثاني : النوع اللامع Glow Type

يتكون كمصباح صغير جدا من أنبوبة مملوءة بالهيليوم وأقطاب من شريط ثنائي المعدن عندما يقفل المفتاح يظهر فرق جهد بين هذين القطبين مسببا بريقا بسيطا بتيار ضئيل لا يسخن الفتيلة في الأنبوبة ولكنه قادرا علي شحن الشريط ثنائي المعدن فيتمدد ويقطع الاتصال فيظهر تلقائيا تيار عالي من الفتيلة فتسخن وتصدر موجات حمراء وعند تلامس الأطراف في البادئ يتوقف التفريغ ويبرد الشريط ويفتح الملامسات فيظهر الجهد البادئ .

## النوع الثالث : بادئ التسخين المسبق Preheat Quick Starting

يتم توصيل شريط معدني مؤرض بجانب المصباح خارجيا لزيادة الجهد من أجل رفع كفاءة التأين حيث بزيادة التيار يرتفع معدل التأين ويكون البدء أسرع ويوضع ملفا علي التوازي مع الأنبوبة وعليه الجهد الكامل ، أما بعد البدء يستعيد المحول جهد الأنبوبة المعتاد ويقل تيار الفتيلة مما يطيل من عمر الفتيلة .

الجدول رقم 5-12 : الألوان الخاصة بالمصابيح الغازية

| نوع اللون | نوع الضوء | الكفاءة (%) | حرارة اللون (كلفن) |
|---|---|---|---|
| فلورسنت أبيض بارد | بارد | 100 | 4100 |
| فلورسنت أبيض بارد دي لوكس | بارد | 70 | 4200 |
| فلورسنت أبيض | طبيعي | 102 | 3500 |
| فلورسنت أبيض دافئ | دافئ | 102 | 3000 |
| فلورسنت أبيض دافئ دي لوكس | دافئ | 68 | 3000 |
| فلورسنت ضوء النهار | بارد | 83 | 6500 |
| فلورسنت ثلاثية الفسفور | بارد<br>طبيعي<br>دافئ<br>بارد<br>طبيعي<br>دافئ | 105<br>105<br>105<br>117<br>117<br>117 | 4100<br>3500<br>3000<br>4100<br>3500<br>3000 |
| زئبق | بارد | 32 | 4400 |
| هاليد | دافئ<br>طبيعي | 70<br>65 | 3000<br>4000 |
| صوديوم ضغط عالي | ذهبي | 21 | 2100 |
| صوديوم ضغط منخفض | أصفر | 0 | 1700 |

## النوع الرابع : البدء البارد Cold Starting

يمكن الحصول علي الجهد العالي إما بفتح الدائرة فجأة او بتوصيل مصدر جهد خارجي يماثل 3 أضعاف الجهد المقنن من خلال محول رفع إلا أن الفتيلة في مثل هذه الحالات تصنع خصيصا لمواجهة هذه الظروف الكهربية عالية الإجهاد .

## النوع الخامس : مفتاح البريق Glow Starting Switch

يتكون من ملامسات مزدوجة المعدن داخل أنبوبة بها أرجون أو هيليوم وعند تسليط الجهد عليها يظهر جهد بين الملامسات المفتوحة وينتج تفريغ كهربي يؤدي إلي حرارة فيقفل الملامسات مزدوجة المعدن ، فيمرر تيار للتسخين المسبق بينما تبرد الملامسات فتفتح ثانية فيرتفع الجهد ويركب علي الملامسات مكثف من الخارج للتخلص من

**التداخلات مع إشارات الراديو، ونري بالجدول 5-13 دليل أمانة الألوان الخاص ببعض المصابيح الواردة في هذا الباب وأماكن استغلالها المناسب مبينا الغامرة ضوئيا منها .**

**يمكننا تلخيص العيوب التي تواجه هذه المصابيح في المكونات التالية : (الأنبوبة - البادئ – التوصيلات – تربيط الماسك – الملف الخانق – ضوء المصباح: وهو عيب تشغيل وينتج عن عدة أسباب هي قلة مقتن الملف الخانق أو انخفاض درجة الحرارة أو الجهد) ، كما يتأثر المصباح من هذا النوع بكثرة عمليات البدء بدون داعي وتغير جهد المنبع انخفاضا أو ارتفاعا وكذلك كثرة التداخل بين الموجات اللاسلكية والمصباح ولذلك هناك متطلبات محددة في التصميم الخاص بهذه النوعيات من المصابيح نحدد إطارها علي النحو الآتي : ( إضاءة مريحة – كفاءة عالية – عدم الإبهار – ارتفاع مناسب للتعليق – تشغيل مستقر من جهة الجهد والتيار – تركيب عاكس لتوزيع الإضاءة ) .**

**أخيرا تتجه التصميمات الحديثة إلي مصابيح الحث الكهربي وفيها تعتمد فكرة التفريغ الكهربي علي تأثير المجال خارجيا علي أنبوبة المصباح ليحدث التفريغ الكهربي بها بدون توصيل البادئ أو غيره من المساعدات .**

**الجدول رقم 5-13 : دليل أمانة نقل الألوان لبعض المصابيح**

| نوع المصباح | أفضل استخدام | كفاءة (لومن/و) | دليل اللون |
|---|---|---|---|
| متوهج عادي | منزلية | 13 | 100 |
| متوهج عالي القدرة | داخلية بارتفاعات عالية | 18 | 100 |
| تنجستن – هالوجين | غامرة | 21 | 100 |
| زئبق بضوء محدد | بديل المتوهج | 20 | 70 |
| زئبق ضغط عالي | الشوارع | 55 | 40 |
| هاليد | للمصانع | 75-100 | 70-90 |
| فلوري | إضاءة عامة | 80-90 | 55-85 |
| الصوديوم ضغط عالي | مناطق تجارية | 115 | 20 |
| الصوديوم ضغط منخفض | شوارع | 185 | 45 |

## ثانيا : نظم الإضاءة Illumination Systems

**تتنوع الإضاءة إلي عدد من الأنواع فهي إما أن تكون إضاءة داخلية in door أ وخارجية outdoor ولذلك يجب تحديد نوعية الإضاءة عند التعامل مع تصميم دوائر الإضاءة للحصول علي أفضل كفاءة وأحسن توزيع لها ويجب أن تتوافر فيها الشروط الأساسية التالية:**

**1- في الإضاءة الداخلية يلزم إضاءة طبيعية تقترب من ضوء النهار وفي الورش والأماكن مزدوجة الغرض يظهر نوعان من الإضاءة ( عامة للمكان عامة وخاصة للمكاتب والمشرفين أو للعاملين علي أعمال خاصة )**
**2- في الإضاءة الخارجية تظهر منها أنواعا مثل الإعلانات أو المطارات والمواني والسكك الحديدية والملاعب الرياضية أو تجميل الأبنية والآثار والجبال والمناطق السياحية وكلها يعتمد علي الإسقاط الضوئي بالكشافات Flood حيث تكون الإضاءة غير مباشرة وتكون قوية جدا ومركزة مع المباني المنخفضة وضعيفة المستوى بقدر الإمكان مع المباني الشاهقة واسعة الانتشار . كما يلزم أن يكون المصباح مقاوم للظروف المناخية من الزجاجي الفضي وله عاكس من صلب لا يصدأ أو الكروم أو حديثا من الإناميل لتوزيع الضوء علي المكان ويعتمد نوع المصباح علي لون المبني تبعا للقواعد المعروفة مثل ما هو وارد في الجدول رقم 5-14 . في الطرق العامة والشوارع الرئيسية وهي هامة لحركة المرور ويتبع فيها أسلوبان**

**الجدول رقم 5-14 : المصابيح المناسبة لبعض ألوان المباني**

| لون المبني | أحمر | أصفر | أخضر | أزرق |
|---|---|---|---|---|
| نوع المصباح المناسب | متوهج | متوهج أو صوديوم | زئبق | زئبق |

**(أ ) طريقة التجميع الضوئي Diffusion Base وتكفي لوحدها عند تصميم الإضاءة في المناطق التجارية والشوارع الداخلية وفي المناطق الداخلية بين الأحياء والمجمعات السكنية ويضاف هنا معاملا هاما عند تداخل الأبنية العالية مع**

**توزيع الإضاءة المطلوبة علي الشوارع ويمكن التغلب عليها من خلال الاعتماد علي الضوء الأفقي وتقليل الضوء والابتعاد عن الإبهار.**
**(ب) طريقة انعكاسية الضوء Reflection Base وهي هامة بجانب السابقة لتصميم الإضاءة علي الطرق السريعة والشوارع الكبيرة حتى لا تؤثر سلبيا علي قيادة السيارات ليلا عند التعامل مع المرايا بالسيارة**

**كما يلزم وضع إضاءة مناسبة عند مفارق الطرق والمنحنيات والمرتفعات والمنخفضات والمطبات الصناعية وغيرها ، وتتأثر جميع هذه المصابيح بالجهد المسلط عليها ويظهر تأثر الجهد علي المصابيح المختلفة علي النحو المبين في الجدول رقم 5-15 .**

**الجدول رقم 5-15 : مقارنة لتأثير الجهد علي خصائص بعض المصابيح**

| مسلسل | مصباح | هبوط الجهد | زيادة الجهد |
|---|---|---|---|
| 1 | متوهج | يقلل من ناتج الضوء | يزيد الإضاءة ويقلل من عمر المصباح |
| 2 | فلورسنت | ينقص ناتج الضوء ويمكن منع بدء الاشتعال | تقليل عمر المصباح بشدة |
| 3 | زئبق | قد يطفئ المصباح كما يقلل ناتج الضوء | يسخن المصباح فتتلف مكوناته ويقصر عمره |

**ونعطي بيانا ملخصا لأهم خصائص الإضاءة للمصابيح المختلفة تبعا للقياسات الدولية كما جاءت في الجدول رقم 5-16 حيث يتبين الآن أن التدرج في شدة الإضاءة كما جاء الترتيب في الجدول ، كما أن عمر المصباح يتباين من قدرة إلي أخرى لذات النوع ومن مصنع إلي آخر لنفس القدرة الواحدة والنوع الواحد كما نجد أن أقصى إضاءة تواكب أسوأ تمييز الألوان وهذا الجدول خير معين لتحديد المصباح المناسب للغرض المحدد له وهو من أهم معايير التصميم الخاصة بهذا العمل سواء كانت الإضاءة داخلية أو خارجية وهو مكملا لباقي الجداول السابق ذكرها في هذا الباب وما سبقه .**

**الجدول رقم 5- 16 : مقننات المصابيح القياسية**

| مصباح | متوهج | فلورسنت | زئبق | هاليد | صوديوم عالي | صوديوم منخفض |
|---|---|---|---|---|---|---|
| قدرة (و) | 1500-6 | 215-4 | 1000-40 | 1500-175 | 1000-70 | 180-35 |
| كفاءة (لومن/و) | 23-6 | 84-25 | 63-30 | 125-68 | 140-77 | -137 183 |
| إضاءة (ك. لومن) | 33.6-0.044 | 15-0.096 | 63-1.2 | 155-1.2 | 140-5.4 | 33-4.8 |
| حرارة (ك. ك.) | 3.1-2.4 | 6.5-2.7 | 5.9-3.3 | 4.7-3.2 | 2.1 | 1.75 |
| عمر (ك.س) | 8-0.75 | 20-9 | 24-16 | 15-6 | 24-20 | 1.8 |
| تمييز لوني | جيدة | جيدة | قليلة | جيدة | قليلة | قليلة جدا |
| تكلفة أولية | منخفضة | متوسطة | متوسطة | عالية | عالية | متوسطة |
| تكلفة تشغيل | مرتفعة | متوسطة | متوسطة | قليلة | قليلة | قليلة |

## 5-5 : التحليل الرياضي Mathematical Analysis

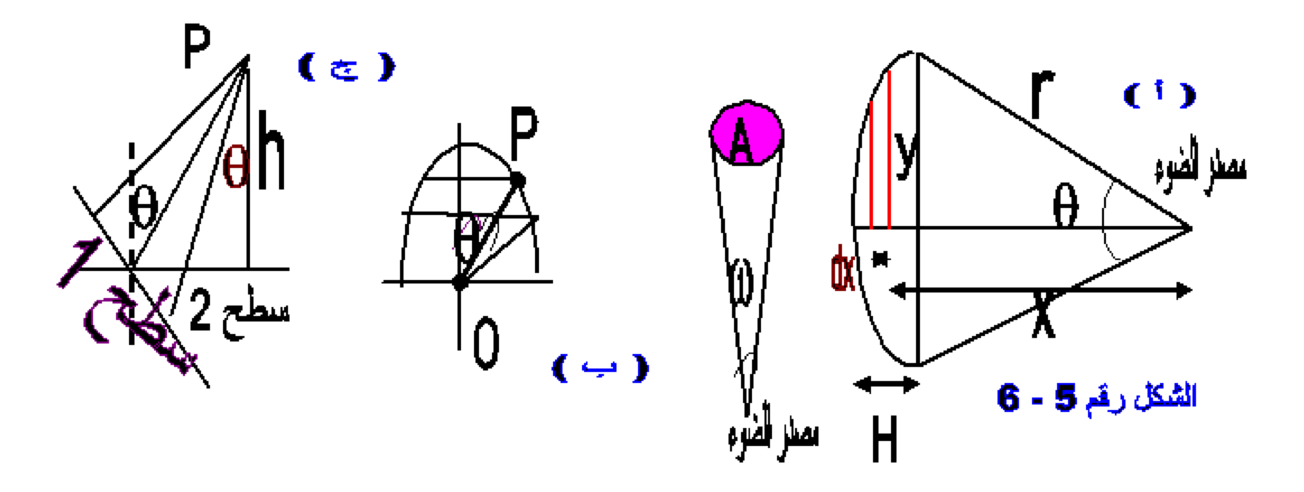
**نتعامل مع المعادلات الرياضية الخاصة بكيفية حساب قوة الإضاءة أو الكفاءة وما هي العلاقة بين تلك الأشعة في الاتجاهات المختلفة في الفراغ ونبدأ بالعلاقة بين الزاوية الفراغية solid angle والزاوية السطحية surface angle ومن ثم نجد من الشكل رقم 5-6 نستطيع التعرف علي الزوايا ونحصل علي المساحة التي تخص السطح المضاء بين حدود البعدين الممثلين لنصف القطر الدائري r والنقطة الأبعد علي هذا السطح H عن نقطة الحافة عند نصف القطر الدائري وتأخذ الصيغة**

$$A = 2\Pi \int_{r-H}^{r} y\, ds \qquad (5-6)$$

علما بأن المساحة الصغيرة ds تتعرف من القيمة الصغيرة dx علي النحو

$$ds = [1 + (dy/dx)^2]^{1/2}\ dx \qquad (5\text{- }7)$$

وباعتبار أن السطح كروي وبالتالي نحصل من معادلة الدائرة علي الصيغة التفاضلية لها في الشكل




$$2\,y\,(dy/dx) = -\,2\,x \qquad \& \qquad dy/dx = -\,x/y$$

ومن ثم نحصل علي المساحة السطحية في الصورة

$$A=2\Pi\int_{r-H}^{r} y[1+(y/x)^2]^{1/2}\,dx=2\,\Pi\int_{r-H}^{r} r\,dx=2\Pi r\,h \qquad (5\text{- }8)$$

بينما الزاوية الفراغية ω تتحدد من المعادلة

$$\omega = A/r^2 = 2\Pi\, r\, H / r^2 = 2\Pi\, H / r \qquad (5\text{- }9)$$

كما تأخذ القيمة الخاصة بالبعد الأقصى H بدلالة الزاوية θ الشكل

$$H = r - r\cos(\theta/2) \qquad (5\text{-}10)$$

فنحصل علي الزاوية الفراغية في الشكل البسيط

$$\omega=2\Pi\,[r-r\cos(\theta/2)]/r=2\Pi[1-\cos(\theta/2)] \qquad (5\text{ -}11)$$

كما تكون الإضاءة علي أي سطح محددة بدلالة قوة الشمعة cp وهذه الزاوية الفراغية والمسافة بين السطح المضاء ومصدر الضوء d من خلال

$$E = \phi/A = cp \times \omega/A = (cp/A)(A/d^2)=cp/d^2 \qquad (5\text{-}12)$$

## أولا : قانون الإضاءة Illumination Law

**عند إضاءة سطح ما فأنه يقع علي نصف الكرة في الفراغ كما في الشكل رقم 5-6 (ب) وكي تكون شدة الإضاءة متجانسة علي هذه المساحة نفرض النقطة P علي الزاوية θ من مصدر الضوء في مركز الكرة O وبالتحرك علي المساحة المضاءة مسافة قصيرة جدا تقابل تغيير في الزاوية قيمته dθ وهو ما يعني أننا تحركنا علي المساحة بمقدار العرض r dθ بينما الطول هو 2 π r sin θ وبذلك تصبح المساحة A هي**

$$A = 2 \pi r \sin\theta \, r \, d\theta= 2 \pi r^2 \sin\theta \, d\theta \qquad (5\text{-}13)$$

**ولها إسقاط مساحي بمقدار A cos θ حيث تقابل هذه المساحة الزاوية الفراغية ω والتي بالقيمة**

$$\omega =A/d^2 =[2 \pi r^2 \sin\theta \, d\theta]/r^2 =2\pi \sin\theta \, d\theta \qquad (5\text{-}14)$$

**نحصل علي الفيض في الصورة**

$$\Phi = L \times = B \; A \cos\theta \, ( 2\pi \sin\theta \; d\theta ) = 2 \pi B A \sin\theta \cos\theta \, d\theta = \pi B \; A \; \sin 2\theta \; d\theta \qquad (5 – 15)$$

**يكون الفيض الضوئي المؤثر نتيجة الاستضاءة Brightness عند النقطة المعنية P الواقعة علي المساحة A في نصف الكرة المبين علي الشكل هو**

$$\Phi= \int_0^{\pi/2} \pi B A \sin 2\theta \, d\theta = \pi B A \left[-(\cos 2\theta )/2\right] \Big|_0^{\pi/2} = \pi B A \qquad (5\text{-}16)$$

**أما الاستضاءة فهي الممثلة للمساحة في الشكل**

$$B = \Phi / (\pi A ) = ( cp ) / (\pi A ) = 1 /\pi \qquad (5\text{-} 17)$$

**حيث أن وحدة الاستضاءة هي ( Lambert = 1/n ( candles/ft$^2$**

**أن وحدات الضوء المختلفة قد ذكرت في بداية الباب الأول ونوضح منها ما هو هام مثل :**

**الفيض الضوئي بالمخروط =قدرة الشمعة (cp)×الزاوية الفراغية (لومن) (5- 18 )**

**يصبح بذلك الإضاءة عند نقطة علي مساحة هي:**

**الإضاءة E = الفيض × المساحة (5- 19 )**

كذلك من المعروف أن الزاوية الفراغية تتحدد من العلاقة

**الزاوية الفراغية $\omega$ = المساحةA/ مربع المسافة $r^2$ (لومن /سم2) (5- 20)**

وتصبح شدة الضوء في اتجاه محدد في الصورة :

**شدة الضوء I=الاستضاءة في هذا الاتجاه/الزاوية الفراغية (5- 21)**

وتكون في هذه الحالة هي $\omega$ / $\omega$ أي لومن/ ستيرديان ( Lumen / Steradian ) أي لكل وحدة من الزاوية الدائرية مما يفيد أن شدة الضوء ثابتة في ذات الاتجاه الواحد ويلاحظ أن السطح المواجه تماما لمصدر الضوء يستقبل أكثر شدة عن غيرة من الأسطح التي قد تميل علي اتجاه الضوء فإذا كانت زاوية ميل الضوء هي المحددة بالقيمة فنحصل علي شدة الضوء بقيمة الكانديلا مقسومة علي مربع المسافة فيكون بذلك مساويا ( الفيض / مساحة السطح الساقط عليه الأشعة ) فإذا تباينت الزوايا كما في الشكل تصبح القيمة كما يلي :

$$E(\text{surface } 1)= \phi/A(1) \ \ \& \ \ E(\text{surface } 2)= \phi/A(2) \qquad (5\text{- }22)$$

إذا كانت الزاوية بين المساحتين هي $\theta$ فتصبح الإضاءة علي السطح 2 هي

$$E(\text{ surface } 2) = [\phi/A(1)]\cos\theta = cp / r^2 \qquad (5\text{- }23)$$

ولما كانت الزاوية هنا تعرف بجيب تمامها المساوي للنسبة ( h/r ) حيث h يمثل الارتفاع العمودي علي السطح 2 بينما r تمثل البعد العمودي عن السطح 1 ، فنجد الإضاءة علي السطح رقم 2 سوف تأخذ الصيغة

$$E(\text{ surface } 2) = (cp / r^2)\cos^3\theta \qquad (5\text{- }24)$$

وهو ما يعرف بقانون لامبرت Lambert للإضاءة ، كما أنه توجد بعض المسميات الهامة والتي لم تذكر ومنها ثلاث مسميات بخصوص متوسط القدرة الضوئية وهم :

## 1- متوسط القدرة الأفقية Mean Horizontal Candle Power

تعني متوسط القدرة بوحدات الكانديلا في جميع الاتجاهات علي المستوي الأفقي ويرمز لها بالرمز MHCP

## 2- متوسط القدرة الكروية Mean Spherical Candle Power

تعني القدرة المتوسطة في كل الاتجاهات في جميع الأسطح الداخلة في الفراغ ويرمز لها بالرمز MSCP وهي

$$MSCP = \text{total } \phi / 4\pi \qquad \text{candela} \qquad (5\text{-}25)$$

وهذا يعني التغير علي خط مستقيم بين كلا من متوسط القدرة الكروية والفيض الضوئي الكلي بزاوية ميلها يساوي ( $1/4\pi$ )

## 3- متوسط القدرة نصف الكروية Mean Hemispherical Candle Power

تعني متوسط القدرة الضوئية في كل المسطحات تحت المستوى الأفقي ويرمز لها بالرمز MHSCP وتعطي

$$MSCP = total\ \phi / \ 2\ \pi \qquad candela \qquad (5\text{-}26)$$

كما توجد العلاقة الرياضية بين الثلاث كميات هذه في الصيغة

متوسط قدرة نصف كروية = متوسط قدرة كروية/متوسط القدرة الأفقية (5 - 27)

والجدول رقم 5- 17 يعطي هذه القيمة محسوبة لبعض مقننات شدة الضوء باللومن كما يبين أيضا تأثير المسافة والبعد عن مصدر الضوء إضافة إلي قيمة الضوء الساقط علي المسطحات العمودية مع المصدر أو تلك المائلة في الفراغ بزوايا مختلفة مبينا أن الأسطح المتوازية مع الضوء لا تستقبل أي ضوء مواز لها .

من هذا يبين لنا أن الإضاءة تتناقص بشدة مع المسافة الزائدة ولذلك يجب أن تكون المصادر الضوئية ضعيفة وعديدة في المسافات البعيدة وعلي العكس للمسافات القريبة فتكون شديدة القوة وغامرة للقدر المطلوب مثل أباجورة المكتب علي سبيل المثال كما نستطيع الحصول علي بعد السطح عن المصدر الضوئي لتكون الإضاءة الأفقية أقصي ما يمكن فنجد السطح علي ارتفاع h وتكون أبعد نقطة علي بعد d من إسقاط المصدر الضوئي لها شدة إضاءة هي

الجدول رقم 5- 17 : بعض المقننات لعدد من المصادر بشدة مختلفة بوحدة ( لوكس)

| شدة الضوء (لومن) | 2000 | 1500 | 1000 | 800 | 500 | 200 | 100 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MSCP (cp) | 159.23 | 119.42 | 79.62 | 63.7 | 39.81 | 15.92 | 7.96 | 3.98 |
| MHSCP (cp) | 318.47 | 238.84 | 159.24 | 127.4 | 79.62 | 31.84 | 15.92 | 7.96 |
| سطح مواجه 2 م | 500 | 375 | 250 | 200 | 125 | 50 | 25 | 12.5 |
| سطح مواجه 4 م | 125 | 93.75 | 62.5 | 50 | 31.25 | 12.5 | 6.25 | 3.12 |
| سطح مواجه 6 م | 55.55 | 41.66 | 27.77 | 22.22 | 13.89 | 5.55 | 2.77 | 1.39 |
| سطح مائل $60^{o}$ علي بعد 2 م | 250 | 187.5 | 125 | 100 | 62.5 | 25 | 12.5 | 6.25 |
| سطح مائل $60^{o}$ علي بعد 4 م | 62.5 | 46.88 | 31.25 | 25 | 15.62 | 6.25 | 3.12 | 1.56 |
| سطح مائل $60^{o}$ علي بعد 6 م | 27.77 | 20.83 | 13.88 | 11.11 | 6945 | 2.77 | 1.38 | 0.695 |

$$I=cp/[(d^2+h^2)]^{1/2}\} \cos\theta=cp \cos^3\theta/ h^2 = cp\, h/(d^2+h^2)^{3/2} \quad (5\text{-}28)$$

**بينما يلزم الحصول علي تفاضل هذه الشدة بالنسبة للمتغير وهو الارتفاع (البعد) عن مصدر الضوء وبالتالي نحصل علي المعادلة**

$$dI/dh=cp[(d^2 + h^2)^{-3/2}+h(-3/2)\, 2h\, (d^2+h^2)^{-5/2}] \quad (5\text{-}29)$$

**وبعد هذه المعادلة نصل إلي قيمة الضوء في الصورة**

$$cp = [( d^2 + h^2)^{-3/2} – 3 h^2 ( d^2 + h^2)^{-5/2}] \quad (5\text{-} 30)$$

**للحصول علي القيمة القصوى نساوي التفاضل بالصفر فنتوصل إلي الشرط التالي**

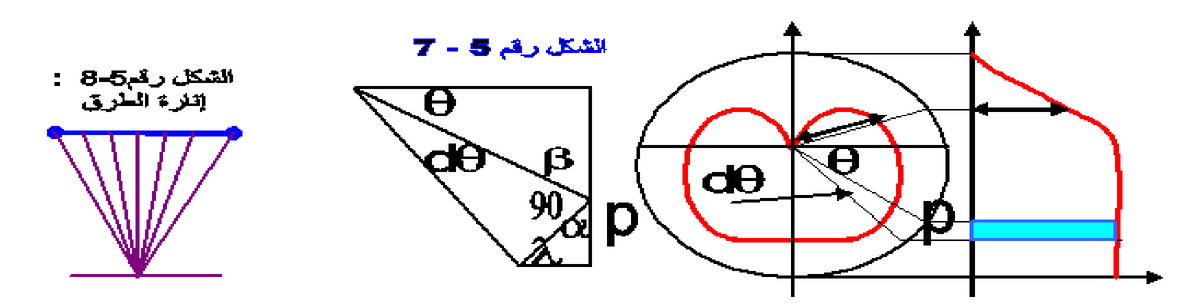
$$1 – 3 h^2 / ( d^2 + h^2) = 0 \quad (5\text{-} 31)$$

**من هذه المعادلة البسيطة تتحدد قيمة الزاوية أو بعد النقطة نسبة إلي ارتفاع السطح حيث نجد**

$$h = 0.707\, d \text{ or } \theta = 45^o \quad (5\text{-} 32)$$

## ثانيا: المنحني القطبي Polar Curve

**ظهر في الشرح السابق أن قوة الإضاءة غير متساوية ليس فقط في الفراغ بل أيضا في المسطح الواحد وهذه الشدة تأخذ شكلا غير منتظما وهذه العلاقة ترسم للمسطح الواحد وهو أما أن يكون أفقيا ويسمي في ذلك الوقت المنحني الأفقي القطبي أو رأسيا**
**ويكون المنحني القطبي الرأسي ويكون حول المسطح الرأسي من الزاوية 0 – 180 درجة بعكس الأفقي ( محورين أفقي وعمودي x. y ) .**




**نجد في الشكل رقم 5- 7 كيفية استنتاج منحني روثيو Rousseau من المنحني القطبي الرأسي حيث ترسم دائرة حول المنحني القطبي بمركزها عند مركز المنحني وخارجه عنه وترسم بعد ذلك أنصاف الأقطار للزوايا المختلفة θ وطول الخط علي كل نصف قطر يمثل قيمة شدة الضوء I بوحدات cp عند هذه الزاوية كما هي المنحني القطبي وبذلك يعطي الرسم الجديد العلاقة بين الكانديلا والزاوية في المسطح الرأسي . وللحصول علي القيمة الرياضية نأخذ الزحزحة**

**بالزاوية $d\theta$ فنحصل علي المساحة داخل المستطيل المظلل بنصف قطر استدارة $r \cos \theta$ في المستوي الأفقي كإسقاط بعرض $r\,d\theta$ بالقيمة**

$$A = 2\pi\ (r \cos\theta)\ (r\,d\theta) = 2\pi r^2 \cos\theta \quad d\theta \qquad (5\text{-}33)$$

**وتقابلها الزاوية الفراغية**

$$\omega = 2\pi r^2 \cos\theta\, d\theta \,/\, r^2 = 2\pi \cos\theta\, d\theta \qquad (5\text{-}34)$$

**أما الفيض فهو دالة في شدة الإضاءة ويعطي بالقيمة**

$$\Phi = I \quad \omega = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} 2\pi\, I \sin\theta\, d\theta \qquad (5\text{-}35)$$

**إلا أن شدة الضوء هنا عبارة عن دالة الزاوية $\theta$ في نفس الوقت مما يجعل الحل الرياضي صعبا وبهذا نحتاج إلي أسلوب لتبسيط المعادلة وتخطي درجة الصعوبة فتأتي من خلال المنحني المستنتج كما أن العلاقة بين الزوايا المختلفة في الفراغ لهذا المستوي نضعها من الشكل الرياضي :**

$$pq = sq \qquad \&$$
$$\alpha + \beta = 90 = \lambda + \beta = \alpha + \theta \qquad (5\text{-}36)$$

**حيث هذه الزوايا موضحة علي الشكل رقم 5-8 وهي للمسطح عند النقطة P وهو ذو شكل كروي وتكون العلاقات بين هذه الزوايا علي الأبعاد الثلاثية ونتعامل مع الإسقاط في اتجاه الضوء ، وعند تساوي الزاويتين $\beta = \theta$ نحصل علي قيمة الخط st في الصورة**

$$st = pq \cos\beta = py \cos\ \theta = r\,d\theta\ \cos\ \theta \qquad (5\text{-}37)$$

**أما المساحة المقابلة للتغير الصغير في الزاوية فنحصل عليه بسهولة بالمعادلة**

$$dA = st\ I = (r \cos d\theta)\ I \qquad (5\text{-}38)$$

**من ثم نحصل علي المساحة تحت المنحني في الشكل**

$$\Phi = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Ir \sin\theta\, d\theta \qquad (5\text{-}39)$$

**ونحصل علي القيمة المتوسطة لها بالقسمة علي القاعدة 2r وتأخذ الشكل**

$$\Phi = (1/2r) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Ir \sin\theta \, d\theta \qquad (5\text{-}40)$$

كما يتبين هنا أن متوسط الضوء الكروي يعادل الارتفاع المتوسط للمنحني أما متوسط الضوء في نصف الكرة يكون من بناء المنحني له من المنحني القطبي الرأسي وهذا الرسم نستطيع التعامل معه سواء بالرسم أو بالطرق الرياضية .

نري في الشكل رقم 5-8 أيضا طريقة حساب الضوء وشدته في نقطة ما علي السطح الأفقي لطريق مثلا أو في ورشة أو في حجرة بأسلوب التجميع الضوئي وهو ما يساعد علي توفير الطاقة ويحسن من توزيع الضوء علي المسطح كله ،وقد سبق التعرض لنوعية تصميم الضوء علي الطرق وهذه الطريقة واحدة منهما ، فمثلا إذا كانت هذه المصابيح قد وضعت علي ارتفاع 4.575 متر فوق سطح الأرضية في طريق داخلي بتباعد 9.15 متر بين كل مصباحين بقدرة 100 لومن في كل الاتجاهات تحت مستوي الأفقي فأن الإضاءة تتأرجح نسبة إلي بعدها عن مجموع المصابيح وبالتالي يظهر حدين أقصى وأدنى لها وتكون الإضاءة في نقطة ما نتيجة المصباح الواحد هي

$$(100 / 4.575^2) \cos^3\theta = (100 / 20.93) \cos^3\theta \qquad (5\text{-}41)$$

هذه الزاوية تؤخذ مع الاتجاه الرأسي وتكون العلاقة تبعا المعطاة عالية علي النحو

$$\tan\theta_1 = (18.3+x) / 4.575 \qquad (5\text{-}42)$$

$$\text{then } d(\tan\theta_1)/dx = \sec^2\theta_1 \, d\theta_1/dx = 1/ 4.575 \qquad (5\text{-}43)$$

$$\text{or } d\theta_1 /dx = \cos^2\theta_1/ 4.575 \qquad (5\text{-}44)$$

ويتكرر نفس المبدأ مع كل الزوايا ونحصل علي إجمالي الإضاءة من كل المصابيح في نقطة ما في الشكل

$$= (100 / 20.93) [ \cos^3\theta_1 + \cos^3\theta_2 + \cos^3\theta_3 + \cos^3\theta_4 + \ldots ] \qquad (5\text{-}45)$$

من أجل الوصول إلي القيمة القصوى والدنيا يجب تفاضل هذه الإضاءة ككل فنحصل علي

$$d\{(100 / 20.93) [ \cos^3\theta_1 + \cos^3\theta_2 + \cos^3\theta_3 + \cos^3\theta_4 + \ldots ]/dx = 0 \qquad (5\text{-}46)$$

حيث x تعبر عن بعد النقطة عن أقرب مصباح في اتجاه الأفقي (محور الحركة ) ونصل إلي

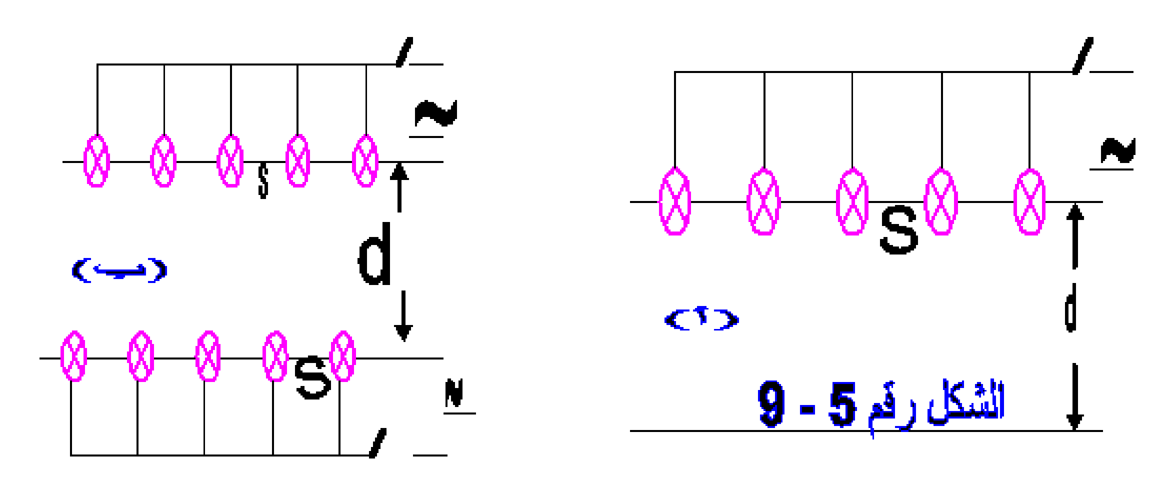
$$- (100 / 20.93) \times 3 [ \cos^2\theta_1 \sin\theta_1 \, d\theta_1/dx + \ldots ] = 0 \qquad (5\text{-}47)$$

وبعد ذلك نصل إلي إجمالي الضوء لنقطة ما عن كل مصادر الضوء في الصورة

$$=- (100 / 20.93) \times ¾.575 [ \cos^4\theta_1 \sin\theta_1 + \cos^4\theta_2 \sin\theta_2 + \cos^4\theta_3 \sin\theta_3 - \cos^4\theta_4 \sin\theta_4 - \cos^4\theta_5 \sin\theta_5 \ldots ] = 0 \qquad (5\text{-}48)$$

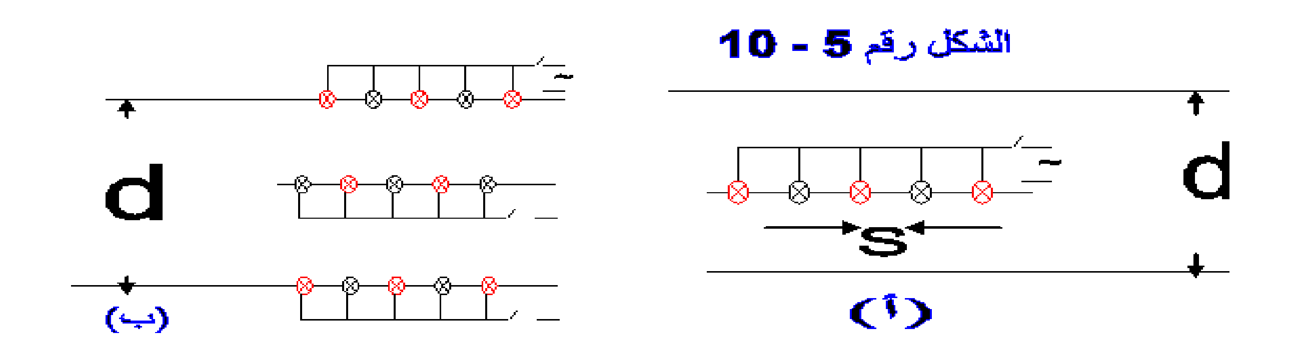
**وفي الحالة هذه نجد أن أقصى إضاءة سوف تأتي في النقطة المتوسطة الداخلية بين المصابيح جميعا بينما يمكن حساب كل نقطة تحت المصباح منهم وكذلك بين كل أثنين متتاليين لأنها النقاط الحدودية في هذا النطاق.**

**كما أن إضاءة الطرق تتبع المناهج المختلفة فمنها ما يعتمد علي أسلوب توزيع الإضاءة علي سطح الطريق كما نري في الشكل رقم 5-9 حيث نجد الطريق الضيق أو الشارع الصغير بعرض d ويكون له توزيعا للمصابيح كما هو مبين في الشكل أ علي جانب واحد أو في الشكل ب علي جانبي الشارع وكلاهما له من الخصائص الذاتية فمثلا في النوع الأول نجد أن التغذية الكهربية تتم بكابل واحد ومفتاح كهربي C B واحد بينما في الثاني تحتاج إلي أثنين ولكن بمقطع أقل من الأول وبالرغم من التوفير في النوع الأول إلا أن التوزيع الثاني يكون له من البساطة والاعتمادية reliability الأفضل ففيه يمكن أن تتم نصف الإنارة كما يجوز تشغيل نصف الإضاءة إذا انهار أحد الكابلين أو أي من أجزاء دوائره بينما في الحالة الأولي لن نتمكن من ذلك ، ونجد أن المصابيح توضع في صف مستقيم بمسافة بينية span هي S ويكون ارتفاع height لكل مصباح هو h .**

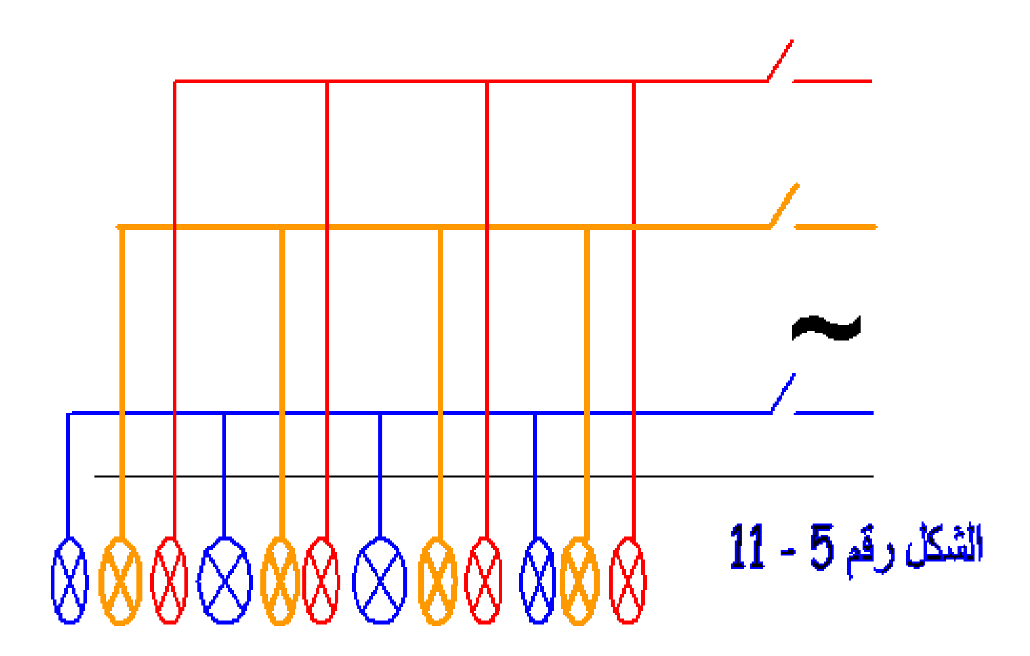



**إضافة إلي ما سبق فهناك أسلوب مختلف لتناول موضوع الإضاءة من علي الجانبين فهو إما أن يضع المصابيح علي نفس الخط من كل جانب أي أن المصباح العلوي والسفلي بالرسم يكون علي خط متعامد مع الخط الجانبي لرص المصابيح علي الجانب أو يكون هناك تبادلا بين وضع المصابيح كما هو مبين في الشكل 5-9 (ب) حيث تكون الإضاءة أكثر توزيعا ويقل الفارق بين الإضاءة الأقصى والأقل علي سطح الشارع ككل .**

**هناك أيضا أسلوبا أفضل مما سبق عندما يتسع عرض الطريق ويكون هناك مسارين (اتجاهين) متعاكسين فيكون أسلوب الإضاءة من منتصف الطريق كما في الشكل رقم 5-10 حيث يعطي الرسم عددا من المناهج المتبعة في هذا الشأن ففي (أ) نجد الإنارة بالكامل من المنتصف أو تتحول الإضاءة إلي الجانبين فقط ويتبع معها ذات الأسلوب السابق في الشارع الضيق ولكن قدرة المصابيح ترتفع بينما في (ب) تصبح من المنتصف والجانبين في وقت واحد ولذلك يكون توزيع المغذيات بين المنتصف والجانبين أكثر تكلفة في مقابل البساطة والتمكن من التعامل مع أجزاء من الدائرة وإتاحة الفرصة للصيانة مع عدم إظلام الطريق تماما بل من الممكن التعامل معه جزئيا في بعض الأحوال خصوصا إذا ما كانت الكابلات أحادية الطور هي المستخدمة تبعا لتعليمات الأمن الصناعي الخاصة بهذا الموضوع .**



بالنسبة للتغذية فهي عادة تعتمد علي توزيع الأحمال علي الكابلات الثلاثية كي يكون التحميل متماثل ومتزن بين الأوجه المختلفة كما نراه في الشكل رقم 5-11 وهو ما يجب مراعاته في مثل هذه التطبيقات




الشكل رقم 5 - 11

## ثالثا : مسائل Problems

**1- A lamp having a uniform 200 cp in all directions is provided with a reflector, which directs 60 % of total light uniformly on a circular area of 10 m diameter. It is installed at 6 m height. Find the illumination at center & edges in both cases if the reflector is used or not. Deduce the average value without the reflector only.**

**طريقة الحل : نتعامل مع المسألة من خلال الخطوات التالية: Flux = = mscp x4 $\pi$ = 200 x 4$\pi$**

**Without reflector, Illumination at center = 200 / ($6^2$) = 5.55 lux**

**Illumination at edge = 5.55 cos θ = 5.55 x (6/7.41) = 4.26 lux**

**Solid angle = 2 $\pi$ [ 1 – cos (θ /2)] = 2$\pi$ (1 – 0.9405) = 0.372 steradian**

**= 200 x 0.372 = 74 lumens & I = 74.4 / 25 = 0.944 lux**

**With reflector, Illumination at center or edge = 200 x 4 $\pi$ x 0.6 / 25 $\pi$= 19.2 lux**

**2- A lamp takes 1.2 A at a voltage of 230 V and it emits 4200 lm. Find its efficiency in MSCP/W & lm/W where this lamp type can be changed. If this lamp has been replaced by another one to take only 1 A and emits 4400 lm, find the same above with a variation in the voltage supply between 190 and 230 V.**

**طريقة الحل : إذا تغير نوع المصباح فيصبح معامل القدرة cos Ψ متغير فهو للمصباح المتوهج الوحدة وللمصباح فلورسنت يساوي 0.4 تقريبا بينما للصوديوم والزئبق قد يزيد عن ذلك ونجد الحسابات التي تخص هذا التغير قد ظهرت في الجدول رقم 5- 18 بعد الاعتماد علي المعادلات الأساسية في الحساب وهي**

**MSCP/W = (Total Flux Φ / 4 π ) / (VI cos Ψ)** **(5-49)**

**lm / W = Total Flux Φ /( VI cos Ψ)** **(5-50)**

الجدول رقم 5- 18 : حسابات كفاءة الإضاءة عند الجهد 230 ف

| 0.6 | 0.5 | 0.4 | 1 | معامل القدرة |
|---|---|---|---|---|
| زئبق | صوديوم | فلورسنت | متوهج | نوع المصباح |
| 2.016 | 2.42 | 3.025 | 1.21 | MSCP/W |
| 25.33 | 30.4 | 38 | 15.2 | lm / W |

في حالة تغير الجهد تتكرر هذه الحسابات ونحصل علي النتائج الموضحة في الجدول 5-19 .

الجدول رقم 5-19 : حسابات كفاءة الإضاءة عند تغير الجهد

| 230 ف | | | 200 ف | | | 190 ف | | | جهد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.6 | 0.4 | 1 | 0.6 | 0.4 | 1 | 0.6 | 0.4 | 1 | معامل القدرة |
| 2.536 | 3.804 | 1.522 | 2.916 | 4.375 | 1.75 | 3.07 | 4.605 | 1.84 | MSCP/W |
| 31.9 | 47.85 | 19.13 | 36.68 | 55.03 | 22.01 | 38.61 | 57.92 | 23.17 | lm / W |

**3- If the 900 lumens lamp has been placed inside a 30.5 cm spherical globe of frosted glass, calculate the cp of the globe and estimate that the percentage of light emitted by the lamp as the same absorbed by the globe. Consider that the brightness is uniform of 250 milli Lambert in all directions.**

طريقة الحل :

**Candles = A cos θ x candles / cm$^2$ = (π/4) ( 30.5)$^2$ x (250 x 10$^{-3}$ /π ) = 58 cp**
**Globe flux = 58 x 4 π = 728 lm     Absorbed flux by globe = 900 – 728 = 172 lm**
**Percentage absorbed = 172 / 900 = 19.1 %**

**4- A white screen receives a parallel beam of light from a projector placed a 20 m from it. The illumination on the screen will be 60 000 lx and a 60 % of the total light emitted from the arc passes into the beam. The absorbed light by the intervening air will be assumed as 5 % of the beam light. Calculate the MSCP of the arc if the screen diameter is varied between 1 & 1.5 m.**

طريقة الحل : نتيجة التغير في القطر الخاص بالشاشة تتغير المساحة ومن ثم توزيع الفيض وكفاءة الإضاءة وهذه النتائج قد جاءت في الجدول رقم 5- 20 .

الجدول رقم 5 -20 : نتائج الحسابات نتيجة تغير قطر الشاشة

| 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | !.1 | 1 | قطر (م) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.25 | 1.96 | 1.69 | 1.44 | 1.21 | 1 | مربع القطر |
| 1.766 | 1.539 | 1.327 | 1.13 | 0.95 | 0.785 | مساحة (م2) |
| 10596 | 9234 | 7962 | 6780 | 5700 | 4710 | فيض ساقط (لومن) |
| 11184 | 9720 | 8381 | 7137 | 6000 | 4958 | فيض الشعاع (لومن) |
| 18590 | 16200 | 13968 | 11896 | 10000 | 8263 | فيض متاح (لومن) |
| 2960 | 2580 | 2224 | 1894 | 1592 | 1315.8 | MHSCP |

**5- Given the polar curve about the vertical axis of the lamp ( 6 m height ) at different angles as shown in Table 5-21 . Find the intensity distribution and draw the illumination curve.**

**Table 5- 21 : Polar Curve**

| Cp | 500 | 360 | 600 | 520 | 400 | 300 | 150 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\theta^o$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |

**طريقة الحل : نتائج الحساب تعتمد علي الزاوية والارتفاع العامودي علي السطح حيث تتغير شدة الإضاءة مع تغير الزاوية المقابلة للمنحنى القطبي وقد جدولت في الجدول رقم 5- 22**

**الجدول رقم 5- 22 : حسابات التوزيع الإضائي تبعا للمنحنى القطبي**

| cp | 500 | 360 | 600 | 520 | 400 | 300 | 150 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\theta$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| $Cos^2\ \theta$ | 1 | 0.985 | 0.94 | 0.866 | 0.765 | 0.643 | 0.5 | 0.342 |
| $Cos^3\ \theta$ | 1 | 0.955 | 0.83 | 0.65 | 0.448 | 0.265 | 0.125 | 0.04 |
| $Cp/h^2$ | 13.9 | 15.55 | 16.68 | 14.45 | 11.12 | 8.34 | 4.16 | 1.39 |
| I | 13.9 | 14.8 | 13.8 | 9.33 | 5 | 2.22 | 0.55 | 0.055 |
| Tan $\theta$ | 0 | 0.1763 | 0.364 | 0.5774 | 0.839 | 1.192 | 1.732 | 2.748 |
| d=h tan $\theta$ | 0 | 1.0578 | 2.184 | 3.464 | 5.034 | 7.152 | 10.39 | 16.488 |

**6- A 60 cd 250 V metal filament lamp has tested at voltages (V) as 240 & 260 V and gives light intensity (I) of 50 & 70 cd, respectively. Deduce the constants of this lamp if it yields one of the following expressions:**

**$I = A\ V^{\gamma}$ , $I = (A+10^{-9})\ V^{\gamma}$ or $I = (A+10^{-4})^2\ V^{\gamma}$**

**If the voltage is varied within a different range as 5 , 7 or 10 % higher or lower, find the corresponding change in luminous intensity.**

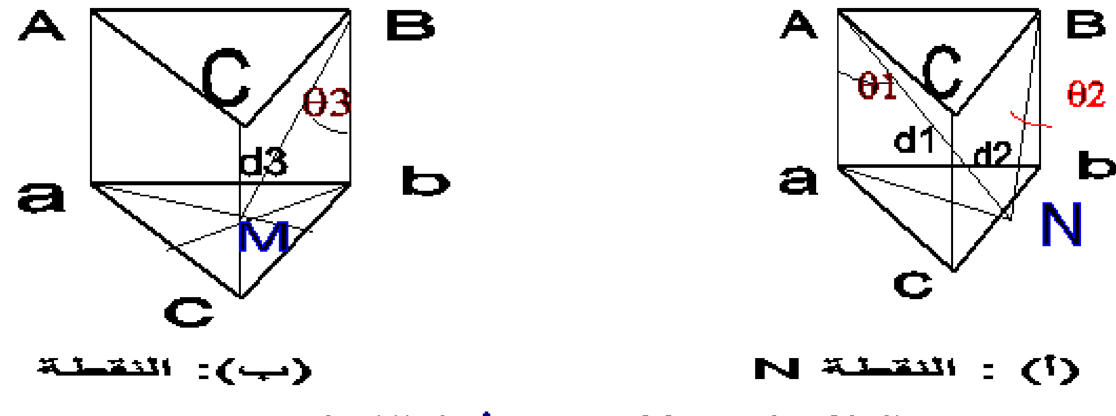
**طريقة الحل : نظرا للتغير في المعاملات المختلفة نضع الحل في الصورة العامة ثم نحصل علي النتائج كما في الجدول رقم 5- 23 .**

**الجدول رقم 5- 23 : حسابات ثوابت الإضاءة ونسبة تغيرها لمختلف الحالات**

| $I = A\ V^{\gamma}$ | $I = (A+10^{-9})\ V^{\gamma}$ | $I = (A+10^{-4})^2\ V^{\gamma}$ | المعادلة |
|---|---|---|---|
| 1.4 | 1.4 | 1.4 | نسبة جهدي الاختبار |
| 4.21 | 4.21 | 5.21 | قيمة الأس $\gamma$ |
| $4.77(10)^{-9}$ | $3.77(10)^{-9}$ | $1.69(10)^{-4}$ | قيمة الثابت A |
| 5 | 7 | 10 | نسبة تغير الجهد (%) |
| $(95)^{4.21}$ | $(93)^{4.21}$ | $(0.9)^{5.21}$ | نسبة شدة الإضاءة |
| 0.806-1 | 0.737 -1 | 0.5775 -1 | تغير شدة الإضاءة |
| 19.4 | 26.3 | 42.25 | نسبة الفقد (%) |

**7- An open space is lighted in all directions under the horizontal surface by three 1000 cd lamps which are placed 15 m apart at the corners of an equilateral triangle, the lamps being hung 6 m above the working surface. Deduce the illumination at :**
**(a) A point vertically below the midway between two lamps**
**(b) A point at the center of the space**
**( c) The total flux**

**طريقة الحل : بالنظر إلي الشكل رقم 5- 12 نجد أن الإضاءة عند النقطة N تعطى بالصيغة**




الشكل رقم 5- 12 : توزيع أبعاد الإضاءة

**$aN = ac \cos 30$,**
**$AN – d_1= [ y^2 + aN^2 ]^{1/2} = [ y^2 + 3x^2/4 ]^{1/2}$**
**$bN = x/2 \quad \& \; d_2 = [ y^2 + x^2/4 ]^{1/2}$**

**باعتبار أن الإضاءة تتبع البعد فنصل إلي**

**$E_B= E_C= I \cos θ_2/d_2^2=(I/d_2^2)(y/d_2)=Iy/d_2^3=Iy/[y^2+x^2/4 ]^{3/2}$**
**$E_A=I \cos θ_1/d_1^2 = (I/d_1^2)(y/d_1)=Iy/d_1^3=Iy/ [ y^2 + 3x^2/4 ]^{3/2}$**

**Total Illumination at N = $E_A + E_B + E_C$ =**
**$= Iy/ [ y^2 + x^2/4 ]^{3/2} + 2 \{ Iy/ [ y^2 + 3x^2/4 ]^{3/2} \} =$**
**$= 1000 \times 6 \{1 / [ 6^2 + 169 ]^{3/2} + 2 / [ 36 + 56.25]^{3/2} \} = 15.6$ lx**
**At point M we have:**
**$Gb = Mb \cos 30 \; \& \; Mb= 2 Gb / (3)^{1/2}= x / (3)^{1/2}$**
**$d_3 = BM = [y^2+x^2/3 ]^{1/2}$**
**$E_M = 3 I \cos θ_3 / d_3^2 = 3 I y / d_3^2 = 3 I y //[y^2+x^2/3 ]^{3/2}$**
**$= 3 \times 1000 \times 6 / ( 36 + 75 )^{3/2} = 15.38$ lx**
**since MHSCP = total flux / 2 π , then**
**Total flux = 2 π x 3 lamps x 1000 cd = 18850 lm**

**8- A street is illuminated by 70.5 m above surface lamps 15 m apart where the polar curve is given by Table 5-24 . Find an illumination curve for the middle of the road, from a point vertically below one lamp to a point on the road midway between two lamps. Light after 15 m length may be neglected.**

**Table 5-24**

| Angle to vertical | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Luminous Intensity (cd) | 160 | 180 | 190 | 170 | 140 | 100 | 75 | 50 |

**طريقة الحل :**

**من الجدول السابق ومن الرسم المبين لتوزيع مصابيح الإضاءة والزوايا المقابلة لكل وضع منها عند النقطة الواقعة علي المسافة x من مسقط المصباح رقم 2 نستطيع حساب هذه الزوايا رياضيا كما ورد في الجدول رقم 5- 25 بينما الإضاءة عند النقطة هذه تعتمد علي قانون الضوء لمربع جيب تمام الزاوية في الصورة**

**$E = I \cos^2 θ / h^2$**

الجدول رقم 5- 25 : نتائج الحساب لإيجاد الإضاءة الكلية علي طول المسار

| X (m) | 0 | 1.5 | 3 | 4.5 | 6 | 7.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\theta_1$ | 63 26 | 65 33 | 67 23 | 68 58 | 70 21 | 71 34 |
| $\theta_2$ | 0 | 11 18 | 21 48 | 30 48 | 38 39 | 45 |
| $\theta_3$ | 63 26 | 60 57 | 58 | 54 28 | 50 12 | 45 |
| I from above Table | 64 | 60 | 54 | 51 | 49 | 46 |
| I from above Table | 160 | 182 | 189 | 166 | 146 | 120 |
| I from above Table | 64 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 |
| $\cos\theta_1$ | 0.4473 | 0.414 | 0.38 | 0.36 | 0.33 | 0.31 |
| $\cos\theta_2$ | 1 | 0.9806 | 0.93 | 0.86 | 0.78 | 0.72 |
| $\cos\theta_3$ | 0.447 | 0.486 | 0.53 | 0.58 | 0.64 | 0.72 |
| $\cos^2\theta_1$ | 0.0895 | 0.071 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| $\cos^2\theta_2$ | 1 | 0.943 | 0.8 | 0.63 | 0.48 | 0.37 |
| $\cos^2\theta_3$ | 0.0895 | 0.114 | 0.15 | 0.16 | 0.26 | 0.37 |
| $E_1$ (lx) | 0.1018 | 0.076 | 0.054 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| $E_2$ (lx) | 2.844 | 3.051 | 2.66 | 1.87 | 1.24 | 0.79 |
| $E_3$ (lx) | 0.1018 | 0.14 | 0.21 | 0.25 | 0.46 | 0.79 |
| $E = E_1 + E_2 + E_3$ (lx) | 3.048 | 3.27 | 2.93 | 2.16 | 1.74 | 1.61 |

# الفصل السادس

# الإضاءة المسرحية
# Theatre Illumination

تعتبر الإضاءة من أهم أدوات العمل في دور الفن وهى الأماكن التي تستهلك الكثير من الأحمال الكهربية في المدن ولهذا تلعب الإضاءة في الحياة العصرية دورا هاما علي كافه المستويات ولم يتوقف الاستخدام واسع النطاق لها علي الأعمال اليومية بل امتد ليشمل ما هو أبعد من ذلك في بعض الحالات الحديثة سواء كانت في العمارة أو في الصناعة أو غيرهما ، كما يلزم التنويه علي أن المسارح من وجهة النظر الكهربية تتشابه مع القاعات الكبرى ومع المكتبات الضخمة ذات الأغراض الخاصة ومع قاعات المؤتمرات الدولية وغيرهم في مجال الشبكات الكهربية ومدها أو أوضاع الإضاءة العامة وأدواتها ومشغلاتها .

## 6-1: نبذة عامة

تعتمد جميع الأعمال الفنية والعادية علي الإضاءة كوسيلة أساسية للرؤية المجردة ولكنه مع التطور الهائل في الأعمال المدنية والحضارة البشرية علي البسيطة دخلت الإضاءة مجالات عدة لتلعب دورا أهم بجانب الرؤية ، ومن ثم توجهت أغلب أعمال الديكور والتزيين إلي نوعيات الإضاءة واستعانت بها لتصبح الأداة الرئيسية في بعض الأحيان ومن هذه التطبيقات نرى الأنواع المختلفة من مصابيح المطاعم الفاخرة والمنازل الراقية وغيرهما كما دخلت هذه الإضاءة في مجال التجميل وإظهار مفاتن الفنون والأعمال القديمة مثل إضاءة الآثار والمناطق الأثرية كما أنها تداخلت مع الفن المعماري لإضفاء اللمسة الجمالية فظهرت في العديد من الأبنية الحديثة بل وأصبحت من القواعد الأساسية.

## أولا : أنواع المسارح Types

تتنوع المسارح من أثرية إلي حديثة أو ضخمة إلي صغيرة أو متعددة الطبقات أو وحيدة الدور إلي غير ذلك تبعا لما ينظمه المتخصصون المعماريون وما يضعوه من أسس لهذه التقسيمات ولكننا هنا سوف نتناول المسارح من الناحية الهندسية كهربيا فقط ولذلك سنتعامل مع النوع منها في الإطار التالي :

## 1- المسارح المكشوفة ( الصيفية ) Outdoor Theatre

المناخ الصيفي الجميل الذي تتمتع به بلادنا يجعلنا نتميز عن تلك البلاد الباردة ويظهر عندنا مثل هذا النوع المكشوف من الأبنية حيث لا تمطر السماء ومن أهم هذه الأبنية تلك التي تخص الأحوال الترفيهية والثقافية مثل دور السينما والمسارح والملاهي المكشوفة وغيرها ونحن هنا نتعامل مع الأعمال الضوئية سواء كانت تلك الإنارة العادية أو الأعمال المسرحية ولكن لا يمكن أن تدخل أعمال الأوبرا داخل هذا النطاق لما تحتاجه من صمت وهدوء قد لا تتوفر في مثل هذه الدور ومن ثم كان التعامل مع الإضاءة المسرحية بشكلها المسرحي دون الموسيقى رفيعة المستوى وهذا كله يدخل في نطاق الأعمال المسرحية المعتادة من الناحية الكهربائية . كما تتميز هذه النوعية من المسارح باتساع المساحة الأرضية إضافة إلي تركيز الأعمال الكهربية وشبكاتها علي الجوانب والأرضية فتزيد بذلك الكثافة الكهربية في وحدة المساحة الجانبية كما تحتاج هذه النوعية من المسارح إلي إضاءة أقل من تلك لغيرها من الأنواع .

## 2- المسارح المغطاة ( الشتوية ) Indoor Theatre

**تظهر الأبنية المغلقة كواحدة من الأساسيات المطلوبة عند التعامل مع الأحداث الهامة وهي لذلك تدخل في نطاق دور الأوبرا والموسيقى الكلاسيك والمعاهد الموسيقية والأكاديميات العلمية المتعاملة مع هذا الفن الراقي ، ويضاف إلي ذلك قاعات الاجتماعات الكبرى والسياسية وقاعات الاحتفالات القومية مثل مبنى المؤتمرات الدولية بمدينة نصر بالقاهرة وقاعة الاحتفالات الكبرى بجامعة القاهرة ودار الأوبرا المصرية بالجزيرة وغيرهم ، ومهما كانت النوعية فالتعامل مع الدوائر الكهربية والأجهزة الكهربية التي تخص هذه المناطق المغلقة من حيث الإضاءة المسرحية والموسيقى الراقية وكذلك التركيبات الكهربائية لمد هذه الشبكات الداخلية بجانب الإنارة المطلوبة لهذه النوعية من القاعات . فهي من حيث المبدأ تلك المسارح المعتادة والتي قد تشمل أكثر من طابق وقد تصل بها الأناقة كما في دور الأوبرا أو كما في دور السينما حيث يلعب السقف دورا هاما في الشبكات الكهربية سواء من جهة التغذية الكهربية أو من ناحية استخدامات الإضاءة وأنواعها المختلفة داخل القاعة المسرحية ، وتزيد هنا مساحات مسطحة في السقف لتعطي مسارات أخرى للشبكات الكهربية وهذه الأسقف تخضع لنوعين هامان من وجهة النظر الكهربية هما :**

### (أ) سقف عادي Normal Ceiling

**يظهر هذا النوع من الأسقف في العديد من المسارح العادية أو دور السينما الصغيرة وفي قاعات المحاضرات العادية وتتم فيه أعمال الشبكات الكهربائية كالمعتاد في كل الأسقف في الأبنية المعتادة في العمارات أو الملاعب الشاسعة وليس هناك ما يمكن أن يزيد أكثر من أنه من الضروري تركيب شبكة البحث عن منشأ الحرائق وذلك من أجل حماية المشاهدين قبل حدوث الكارثة حال تواجدها وهي لا تختلف كثيرا عن ذلك النوع التالي من الأسقف ، ومن هذه الناحية نجد أن التوصيلات الكهربائية من الأنواع التقليدية Traditional Type والمستخدم فيه الخراطيم Hoses والمواسير Pipes وأدواتهم والملحقات المعروفة وذلك تبعا للمواصفات الفنية Technical Specification والقياسية والكود المصري Egyptian Code .**

### (ب) سقف معلق Suspension Ceiling

**يعطى هذا النوع مساحة فنية أوسع للعمل مع الشبكات الكهربية والتعامل مع أجزائها المتباينة من تغذية أو إضاءة أو تشغيل أو تحكم بل ويسهل أمور الإمدادات الكهربية لكل الأجهزة العاملة علي السطح أو تحت السقف بما في ذلك أجهزة التكييف Air Conditioning Device سواء كان مركزيا أم لا ، ويمثل بذلك الفراغ ما بين السقف المسلح والآخر المعلق قناة صالحة لمسار الكابلات والأسلاك Wiring تختفي عن العين المبصرة وتسهل أعمال الصيانة والمراجعة .**

## ثانيا: مستوى الاستخدام المسرحي Operation Level

**كما ذكر من قبل أن المسرح الصيفي يقرب من العمل العادي بينما المسرح الراقي مثل الأوبرا يعني مستويات أفضل ومن ثم لزم التنويه عن هذه النوعيات بإيجاز شديد لتبسيط الوضع أمام القارئ وتمهد للدخول في جوهر الموضوع ولذلك توضع الاستخدامات المسرحية في درجات متتالية كما هو آت :**

### (ا) مستوي عادي Normal Level

**يأتي المستوى العادي للاستخدام المسرحي علي بداية الطريق في هذا المجال فنجد منه المسارح المتنقلة والمسارح المدرسية والمسارح الطلابية أو تلك في مراكز الشباب وهي لا تحتاج إلي التقنيات العالية ولا تعمل بصفة الاحتراف بل تدخل في دائرة الترفيه وفي بعض الأحيان في مجال الثقافة وقد تظهر في قصور الثقافة المنتشرة في كل أنحاء الجمهورية ، ويكفي في هذه النوعية البسيطة وجود الكشافات المعتادة وقد تكون السيكلوراما حيث أعلي درجات التقنية المستخدمة وبشكل يدوي بالرغم من أنه قد تهتم الدولة بأي من هذه المسارح وتضع لها كل المساعدات لترقي وتصبح مجهزة علي أعلى المستويات .**

## (ب) قاعة مؤتمرات Conference Level

تظهر هنا النوعيات المتقدمة من الأعمال الفنية فتظهر الأعمال الصوتية بجانب الضوئية بل وقد تأخذ المركز الأول في الأهمية حيث تكون القاعات مجهزة للعمل الصوتي نظرا لطبيعة العمل في المؤتمرات فنرى ضرورة تركيب الدوائر الصوتية الخاصة بالترجمة الفورية بجانب توصيلات شبكة كهربية لتغذية الحاسبات بالقاعات أو في الملحقات الداخلية وبالتالي تظهر أهمية تواجد قاعة للتعامل مع الصحافة وأخرى للعمل في شبكة الإنترنت إضافة إلي ضرورة تواجد مستلزمات المحاضرات من عارض الحاسب بالفيديو وغيرها من الأدوات الأخرى ومكونات المنصة والقاعة المضافة للمؤتمرات الصحفية وإلقاء البيانات والتصريحات خصوصا إذا كانت القاعة تخضع للمستوى القومي ،
ويجب التركيز علي مركز لخطوط الحاسب الآلي لتغطية كافة المناسبات . ولا يتوقف الوضع عند هذا الحد بل يمتد إلي ضرورة إضافة الأعمال الضوئية التي تخص الأعمال المسرحية حتى يكون المقر ملائما لعرض العروض المسرحية والتي عادة نحتاجها في حفلات الافتتاح والختام عند إقامة أي مؤتمر ، وهذا يعطي هذه القاعات درجة عالية من الأهمية كما يزيد من حجم الأعمال فيها والتي قد تتفوق عن الأعمال المسرحية في مسرح شيد لهذا الغرض فقط .

## (ج) قاعة اجتماعات Official Meeting

ينعكس الحديث الوارد في البند (ب) علي هذا المجال حيث تأخذ الاجتماعات نفس الطراز الخاص بالمؤتمرات في الكثير من الصفات مع الفارق بينهما من حيث حجم القاعة أو طبيعة ترتيبها فنيا وإداريا .

## (د) مستوي رفيع High Level

يتبع هذا المستوى كل الأعمال الراقية والتي تتعامل مع الموسيقى الراقية مثل الكلاسيك أو الأوبرا أو المسارح الغنائية ( الأوبريت ) وتحتاج إلي كل ما هو قد سبق الحديث عنه في كل المستويات السابقة إضافة إلي النوعيات الخاصة من الكشافات والأجهزة الآلية والتي تعمل مع الحاسب الإلكتروني بجانب أعمال الموسيقى المضافة علي أجهزة العمل مع المنظمات الضوئية كأحد الأنواع القياسية المتداولة بالأسواق .

## ثالثا: أنواع الإضاءة Classification

تعتبر الإضاءة بصورة عامة واحدة من أهم الخدمات الهندسية الضرورية والتي يتحدد عليها الشكل العام والذوق الفني أمام المشاهدين ولها محورين هما

## المحور الأول : الإضاءة العامة General Lighting

قد وصل الاهتمام بالإضاءة وتكنولوجيا الانتفاع بها إلي مستويات رفيعة خصوصا في تلك المسارح التي تعتمد علي الشكل المعماري وهذه تشمل نوعان من حيث المبدأ هما:

## أولا : الإضاءة اليدوية Manual Lighting

تعتبر هذه النوعية من العمل قديمة ويجب تغييرها لأنها هي المتبعة منذ الظهور الأول للإضاءة بشكل عام كما أنها قد تستهلك كثيرا من الطاقة في المجمعات الضخمة والكبيرة ولكنها منتشرة لبساطة التعامل معها وهنا نفرد لها:

## 1- إنارة الشوارع Street Lighting :

يتم إنارتها بشكل عام وعادة من داخل محطات الكهرباء مباشرة وتعمل بالأسلوب اليدوي ويقوم بذلك مهندسو المحطات حيث يتم تشغيلها مع بداية الليل وقت الغروب ويتم رفعها من الخدمة مع أول ضوء الشروق غير أنه تتواجد بعض

الدوائر الآلية لإنارة هذه الشوارع من خلال الخلايا الكهروضوئية **Photo Cell** العاملة بالطاقة الشمسية **Solar Energy** بحيث مع انتهاء ضوء النهار تعطي الأمر الكهربي بقفل الدائرة الخاصة بالإنارة وعندما يظهر الضوء مع الشروق ويزيد إلي الحد المطلوب تقوم بفتح الدائرة الخاصة بهذه الإنارة .

## 2- إنارة المنازل Home Lighting

تعمل هذه النوعية بالأسلوب اليدوي خصوصا وأن المسافات بين المصابيح قليلة ( قد تتلاشى عمليا أحيانا ) كما أن أسلوب التحميل مختلف وغير ثابت ولا تعتمد علي أي أساس مقنن يجوز معه التعامل رياضيا أو غير ذلك من الصفات المنتظمة ومهما كانت النوعية المنزلية فهي عشوائية الأداء ومتباينة الاستخدام ، إلا أن السلالم تحتاج إلي النظام الآلي **Automatic System** حيث يستخدم علي نطاق واسع نظام الدفياتير لإنارة السلالم ترشيدا لاستهلاك الطاقة الكهربائية وتلبية الإنارة فور الحاجة إليها أما بالنسبة للقصور الضخمة وهي ذات المسافات البينية الطويلة والأدوار المتعددة نجد أن التعامل مع الدوائر الكهربائية الخاصة بالإنارة العامة بها قد تحتاج إلي هذه النظم الآلية ويدخل فيها اليوم المشغلات الدقيقة ، والحاسبات الإلكترونية **Computers** دخلت الميدان وانتشرت وأصبحت من الدوائر الرئيسية ترشيدا للاستهلاك ومنعا للحوادث التي قد تنجم عن أية أخطاء من تشغيلها أو تركها تعمل دون مراقب، وهي من الخطوات الهامة التي ساهمت في تطور المسرح علي وجه العموم من الناحية الهندسية . تدخل أيضا المجمعات الضخمة علي الطريق بجانب القصور وهي مثل المجمعات التعليمية والجامعات والمدارس عالية الكثافة واسعة المساحات والمستعمرات السكنية جماعية الطابع مثل المدن الجامعية وبيوت الشباب الكبيرة والمدارس الداخلية وأيضا الأسواق التجارية والمناطق الحرة التي تقع علي مساحات شاسعة من الأرض .

## 3- إنارة المقار الحكومية Lighting of Governmental Sites

تحتاج هذه المواقع إلي النظام الآلي بصفة جوهرية لأنها تتعامل مع العشوائيات **Random** المتباينة وقد يكون الاهتمام أقل عن القطاعات الخاصة الأخرى وهي في أغلب الأحيان يدوية إلا أن الحاجة ماسة للاعتماد علي الحاسب الإلكتروني والمشغلات الدقيقة ، ومن هذا المنطلق نحتاج إلي تطوير جميع أنواع دوائر الإنارة من الوضع اليدوي في التشغيل إلي النظام الآلي من أجل الترشيد من ناحية والحفاظ علي درجة عالية من الأمن الصناعي من الجهة الأخرى وتظهر أهمية هذه النظم في التعامل مع المخازن وخصوصا تلك المنتشرة علي أراضي واسعة أو تلك التي تحتوي المواد القابلة للاشتعال أو القابلة للانفجار .

مهما كانت الحاجة ماسة للتعامل اليدوي تكون الحاجة أشد إلي الاعتماد علي النظام الآلي في الفصل والتوصيل ويكون بتوقيت زمني في الأماكن التي تناسب هذا وبغير توقيت في المناطق الأخرى والتي لا تحتاج إلي الوقت لطبيعة العمل فيها أو في أسلوب التعامل معها، كما تنتهج ذات الطابع القرى السياحية والفنادق الصيفية والمصيف الجماعي من حيث النظم المتبعة بعدم التدقيق في أعمال الكهرباء عموما .

### (ا) إضاءة القاعة Hall Lights

تعتبر القاعة من المواقع الخاصة في التعامل مع الإضاءة فمنها أنواع مثل القاعات الرياضية أو القاعات الدراسية أو الورش المعملية أو القاعات الخاصة بالقصور أو القاعات الملحقة علي المسارح أو قاعات المسارح ذاتها وهي محور الحديث هنا حيث نحتاج إلي إنارتها بدرجات متفاوتة فنحتاج إلي إنارة السقف والحائط والأرضية حيث السلالم وفي جميع الأحوال تكون إنارة السلالم خافتة لأنها تستخدم فقط في حالة الإظلام التام للقاعة بينما النوعين الآخرين يحتاجان إلي درجات متباينة الإضاءة بمستوياتها المختلفة عالية الاستضاءة أو متوسطة ثم المنخفضة قبل الإظلام التام أثناء العرض المسرحي وكلها وسائل متباينة تحتاج إلي الفن والذوق في الأنماط التي يجب أن تستخدم لتريح العين المبصرة قبل الاندماج مع العرض المطلوب مشاهدته ، ومن ثم نحتاج إلي النظام الآلي في التعامل لتخفيض مستوى الإضاءة تدريجيا من مرحلة أولي إلي ثانية إلي أخيرة بينما في العقود الأخيرة ظهرت الأجهزة التي تتعامل مع المشغلات الدقيقة والحاسب الإلكتروني وتستطيع بذلك تخفيض الإضاءة بأسلوب تدريجي مستمر وليس علي مراحل كما كان متبعا من قبل وبذلك نحافظ علي درجة رؤية المشاهد ونعطي الفرصة للانتقال من الحالة المضاءة تماما إلي المظلمة تماما دون أي تأثير ضار علي الرؤية البشرية سواء للمشاهدين أو للعاملين في ذات الحقل .

## (ب) إضاءة حجرات الخدمات Serves Room Illumination

تحتاج حجرات الخدمات ( وهي متعددة فمنها حجرة التحكم أو حجرة الإشراف علي حركة الممثلين أو موقع الملقن أو حجرة الممثل والمخرج ) إلي أنواع الإضاءة المعتادة مثل إنارة المنازل والمقار الحكومية ومثل المطاعم السياحية أيضا ولكننا هنا نحتاج إلي وضعها علي الخريطة الآلية للتشغيل مع الحاسب الإلكتروني وأجهزة التحكم في الإضاءة داخل المسرح ، وخصوصا تلك الحجرات الخاصة بالتشغيل ( أي مكان العاملين علي الإضاءة ومتابعة الصوتيات بالمسرح ومراقبة العمل ) وأماكن الممثلين والمخرج وغيرهم من العاملين وقت إظلام القاعة أي وقت الأداء المسرحي .

## ثانيا : التحكم في الإضاءة التلقائية Automatic Lighting

مما سبق نستطيع تفهم مدى أهمية التعامل مع الإضاءة التلقائية خصوصا مع الأعمال مسرحية الطابع وليس بالضرورة أن تكون في المسرح فقط ولكنها تلك الأعمال التي تحتاج إلي إضاءة من شكل محدد ومركز وله طابع مميز وقد يظهر مع الأعمال السينمائية أو في أستوديو التصوير أو في المواقع الأثرية أو علي حدود المعسكرات العسكرية أو المواقع النائية والتي تحتاج إلي الحراسة مثل الحدود الدولية وغيرهم . هذا هو النوع المستقبلي والذي يجب أن تخضع له جميع الأعمال اليومية في المصانع والمجمعات الضخمة والمستعمرات السكنية وفي الشوارع وغيرهم لما سوف توفره من الطاقة وبالتالي في تكلفة الاستخدام الكهربي في مجال الإضاءة ، وهذه العملية تعتمد علي محوري التشغيل وهما محوري التأكد من سلامة المنبع ووصوله إلي وحدة التحكم أولا بينما الثاني يشمل خطوات التعامل والتنفيذ بعد التأكد من وجود التيار وسلامة الدوائر Circuits المختلفة الداخلة في الأداء ،

وبناء علي هذا نضع الهيكل التنظيمي للتأكد من وصول التيار بسلام إلي جميع الوحدات العاملة بالمنظومة لتشغيل الإضاءة من هذا المنطلق كما هو مبين في الشكل رقم 6 – 1 ، كما أنه في حالة الفصل التلقائي Automatic Tripping للجهاز يلزم ضرورة التأكد من:

1- مجموع الأحمال الكلية Total Loads المتواجدة علي الوحدة من كل المنظمات الضوئية لأن التحميل الزائد Over Load قد يودي بالجهاز ولذلك يلزم احتساب مجموع الأحمال الكهربية علي الجهاز والتأكد من قيمتها الإجمالية وأنها لا تتجاوز الحمل الأقصى المقنن .

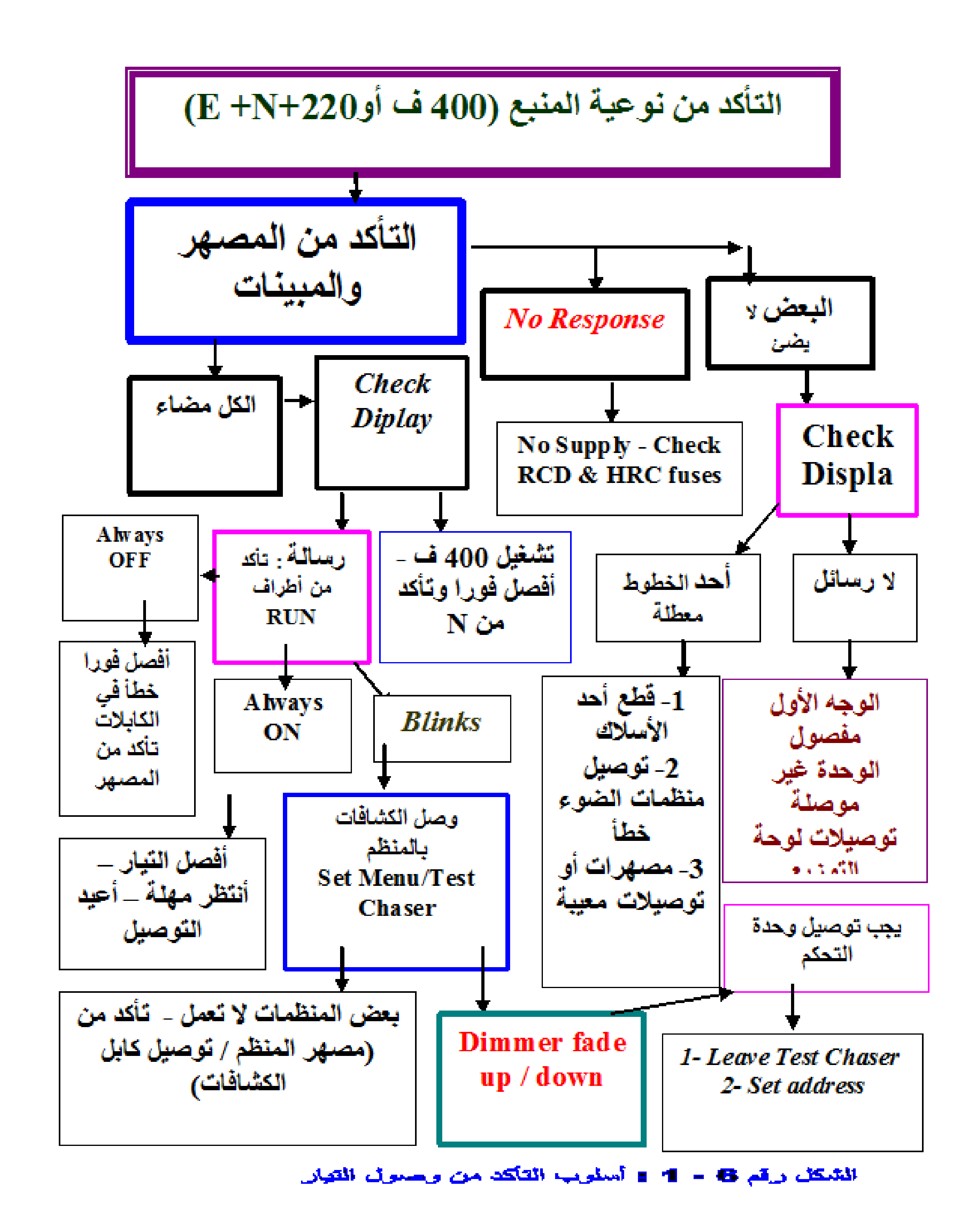
2- درجة حرارة الهواء المحيط Ambient Temperature مناسبة وغير مرتفعة حيث أن الدرجة المقننة هي 35 درجة مئوية كحد أقصى ولهذا السبب يجب أن توضع هذه الأجهزة داخل حجرات مكيفة الهواء لضمان عدم ارتفاع درجة الحرارة في أي وقت ، وهذا يفيد بضمان عمل المراوح Fans القائمة علي تبريد الجهاز وأجزائه وأن الأحمال الكهربائية علي المنظم الضوئي Dimmer لم تتعدى نطاق المحدد . ويقوم الجهاز تلقائيا بخفض مستوى تحميل Loading Level المنظمات الضوئية أولا عند ارتفاع درجة الحرارة ثم زيادة هذا الخفض مع استمرار الارتفاع الحراري ثم الفصل النهائي Final Switching Off كنوع من الوقاية الضرورية Necessary Protection لهذه الأجهزة .

3- التأكد من المصابيح العاملة Lamps ووصلاتها الكابلية Cable connections لأن الخلل في التوصيل أو التركيب سيسبب عدم وصول التيار إلي جميع المواقع العاملة داخل الجهاز .

4- فصل الجهاز ثم تغيير المصهر لأن المصهر أول أداة واقية ولا يجب تغييرها علي الحمل خصوصا عند تركيبها وحتى لا يقع عليها التيار الكلي وقت التركيب منعا للشرارة Sparking .

5- توصيل الجهاز مرة أخرى بعد تركيب المصهر البديل New Fuse عن ذلك الذي خرج عن العمل

أما الشكل رقم 6-2 فيعرض المحور الثاني والخاص بخطوات التشغيل كاملة وهو ما ينطوي علي طريقين متجاورين داخل المنظومة عند تحميل 50 % من حمل المنظمات الضوئية كي نتفادى التحميل الكامل المفاجئ فيكون التحميل تدريجيا ويتم العمل حتى نصل إلي نصف الحمل الكلي وبالتالي نبدأ في اختبار الإشارات التي تعمل وتحديد تلك التي لا تعمل .



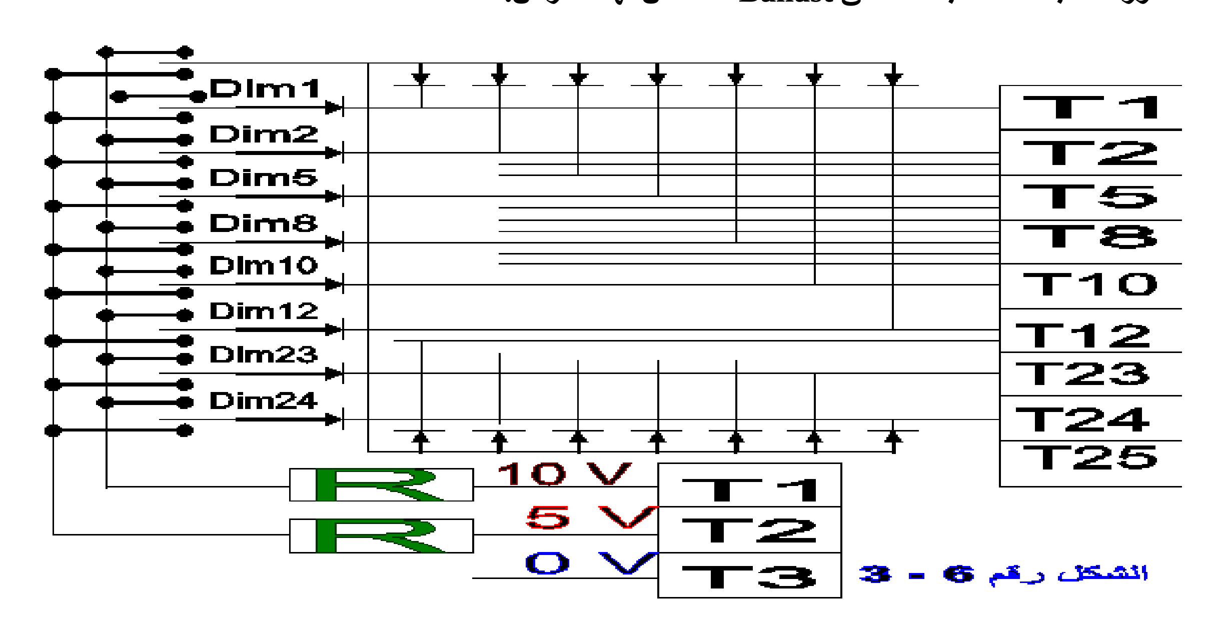

الشكل رقم 6 - 1 أسلوب التأكد من وصول التيار

هذا الأداء مهما داخل الاختبار حتى نستطيع التعامل مع القنوات بسلامة تامة أثناء التشغيل ويعرض الشكل رقم 6- 3 الدائرة الرئيسية Basic Circuit لتوصيل المنظمات الضوئية Dimmers معا من خلال وحدة التحكم وهي ما يمكن أن تتم لتوصيل 24 منظم أو 12 وهكذا علما بأن أطراف الخروج Output Socket دائما على 25 طرف 25 Terminals وتعمل مع الجهد صفر و 10 و 5 فولت والرسم يختص بحالة 24 منظم ضوئي وفيه أيضا نجد أن أسلوب المفتاح الضاغط أساسا للتعامل مع التوصيل إلي دوائر التيار المستمر بالجهد المشار إليه عالية . وتأخذ المقننات العامة البيانات الأساسية كما يلي :




الشكل رقم 6 - 2 : أسلوب التأكد من دوائر الإشارة

1- مشغلات دقيقة رقمية 100 % Digital
2- تعمل مع قدرات مقننة 3 أو 5 ك.و.
3- تسمح بدرجات حرارة بين 5 كحد أدنى و 35 درجة مئوية مع 90 % كأقصى رطوبة نسبية Relative Humidity
4- تعمل مع كلا من الطور المفرد والثلاثي مع نقطة تعادل بمدى الجهد المقنن مع ± 10 % .
5- تتم الوقاية بالمصهر Fuse Protection لكل منظم ضوئي علي حدة وبإجمالي 100 ك. أ للقصر .
6- تظهر أحيانا مركبة للجهد الثابت D C Component ولكنها ضعيفة لأنها لا تزيد عادة عن 1 فولت عند الحمل الكامل Full Load
7- مناسبا للعمل مع الأحمال خالصة المقاومة Resistive وكذلك الأحمال الحثيةInductive مثل مصابيح تنجستن ومصباح الهالوجين منخفض الجهد مع محولات مناسبة Suitable Transformers وأيضا مع المصابيح الفلورسنت بالاستعانة بملف خانق Ballast مخصص لهذا الغرض.




الشكل رقم 6 - 3

## المحور الثاني: خشبه المسرح Stage Lights

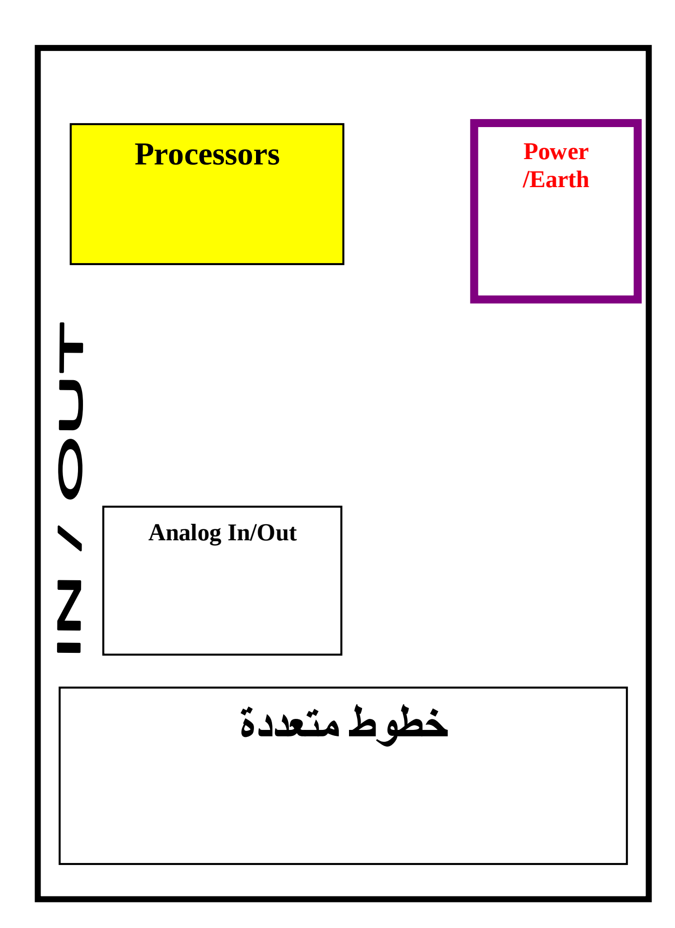
تحتاج خشبه المسرح إلي عناية فائقة واهتمام بالغ من حيث أعمال الإضاءة حيث يلزمها الإضاءة المركزة Concentrated Light بجانب المنتشرة Spread Lighting وتلك ذات الخلفية وهي كلها ذات مقتنات تقنية ومواصفات محددة ولذلك سوف نلقي عليها الضوء من أجل المزيد من الفهم والتعرف علي خصائص هذه الإضاءة ومكوناتها ومدى الحاجة إليها علي النحو التالي :

### 1- إضاءة خشبه المسرح Stage Lighting

تمثل خشبه المسرح أهم المواقع التي تحتاج إلي الرعاية ومن ثم تكون أعمال الإضاءة فيها متواكبة مع المتطلبات والضروريات وحيث أنها تتباين في الاستخدام فهي هامة أثناء العرض المسرحي للتعامل مع الخلفيات المسرحية وإلقاء الضوء علي المعاني الأساسية فيها وإظهارها بل وتلوينها إذا احتاج الأمر كما أنه لا يقتصر الوضع علي ذلك بل يمكن الاستعانة بها عند إلقاء البيانات أو حتى عند عقد المؤتمرات والندوات وتأخذ بذلك طابعا متباينا مع الأول وفي هذه الحالة لا بد من توفير كل المتطلبات لكل أنواع الاستخدامات وكل هذه الأنواع سنتعرض لكيفية التعامل معها في السطور التالية .

### 2- إضاءة الممثل أو الفرد علي خشبه المسرح

نحتاج دائما لوضع الممثل في دائرة ضوئية كي يبين معه أنه من أهم الممثلين عند التحدث أو أداء الحركات المعبرة والجوهرية وهنا تكون الحاجة ملحة للتعامل مع نوعيات معينة من الكشافات الضوئية Spot Lights ، أما إدارة عملية الإضاءة من خلال وسائل تحكم آلية وسنفرد لها البنود التالية فيما بعد عند التعرض لتقنيات هذه الإضاءة خصوصا وأن الإضاءة للمثل وحده تحتاج إلي نوعيات معينة دون غيرها .




الشكل رقم 6 - 4: لوحة المشغلات الدقيقة

### 3- إظلام خشبه المسرح أثناء تغيير المناظر

في كثير من الأحوال نحتاج إلي إظلام متعمد لإجراء تغييرات في المشاهد أثناء العرض داخل الفصل المسرحي وبدون توقف المسرح أو المعنى العام له ويظهر بذلك التحكم الآلي وأهمية وما سوف يلعبه من دور أساسي في هذه العملية ولذلك سوف نتناول هذه التقنيات الحديثة والتي تعتمد علي الدقة والتوقيت المناسب فيما هو لاحق من هذا الباب .

تلك هي محاور الإضاءة في القاعات المسرحية فنجد البسيط والمعروف مثل المحور الأول والثاني بينما نري الهام جدا في المحاور الأخيرة إلا انه مع التكنولوجيا الحديثة' أمكن الدمج بين المحاور جميعا.

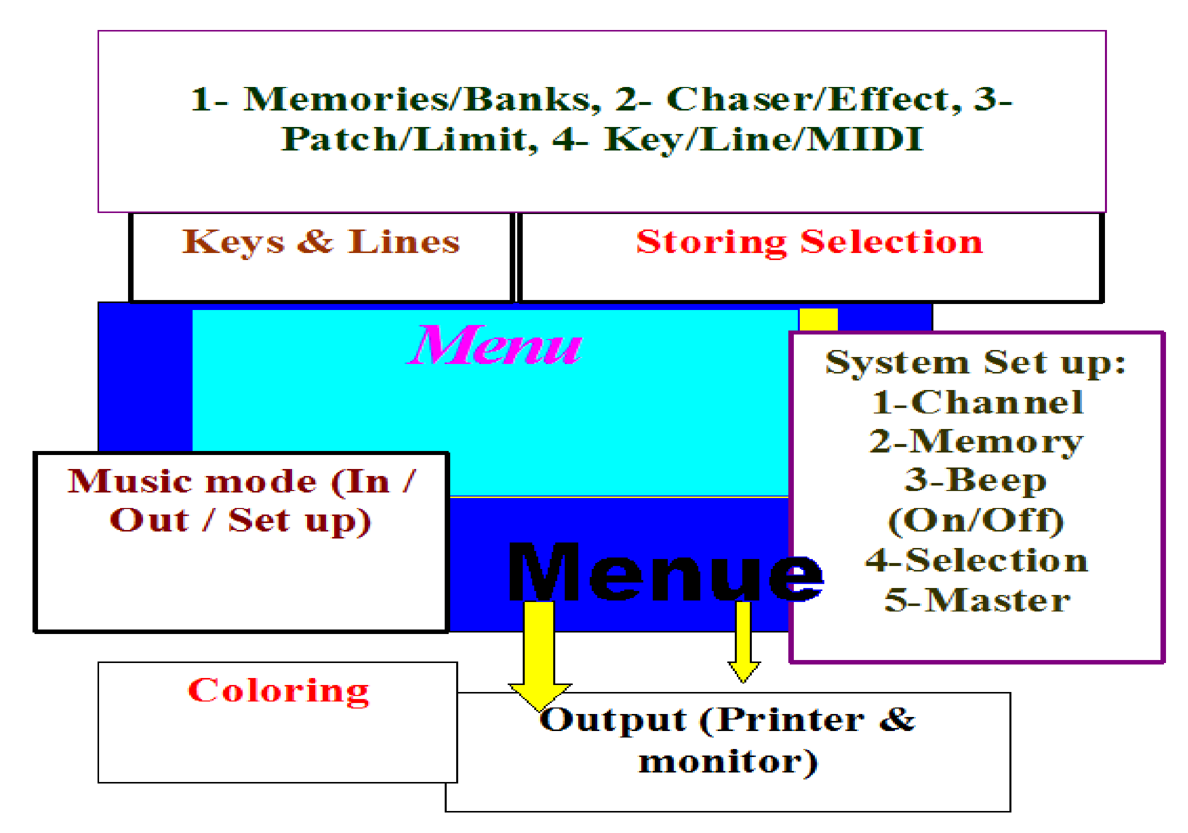
## 2-6: تقنيات وسائل الإضاءة Technology Concept

يدخل في الاعتبار العديد من الأسس التكنولوجية منها :

### أولا: مشغلات دقيقه microprocessors

تعتبر المشغلات الدقيقة من أهم الأعمال الفنية التي سارعت من التقدم العلمي في العصر الحديث وقد تبعها العديد من الاختراعات التي تساهم بدرجة ما في تبسيط الحياة علي البسيطة ولهذا دخلت في محال الإضاءة المسرحية وساعدت إلي حد كبير في التطور المعاصر للأعمال المسرحية ونجد في الشكل رقم 6 -4 الصورة التخطيطية العامة لوحدة المشغلات المركزية CPU غير أنه تتواجد الأنواع الأحدث والأشمل في الأداء وفي الإمكانيات المتاحة للعمل في هذا الميدان.

تعمل هذه الدوائر والتي تعرف باسم اللوحة الأم Mother Board اعتمادا علي سرعة المشغلات الدقيقة المركبة عليها وهي الآن أكثر تطورا عن ذي قبل وأصبحت السرعة Speed تتلاءم مع التزامن الفعلي في تنفيذ العمليات الرقمية ، وهي نفس المشغلات التي تحدد أسلوب العمل مع وحدات التحكم الخاصة بمثل هذه الأجهزة الضوئية كما نراها في الشكل رقم 6- 5 حيث تظهر القائمة منطلقا للعمل ومنها يتم الاختيار وتخزينه بالذاكرة وإنشاء الخصائص وصفات التشغيل المطلوبة وتحديدها كما يمكن إضافة التأثيرات الصوتية الخارجية Audio وبالأخص الموسيقية منها خصوصا وأن العمل بهذه الأجهزة يكون في ميدان المسرح والغناء أساسيا فيها ، إضافة إلي ما سبق نستطيع التعامل مع الألوان الخاصة بالإضاءة وذلك بشكل آلي أو يدوي حسب الأحوال .

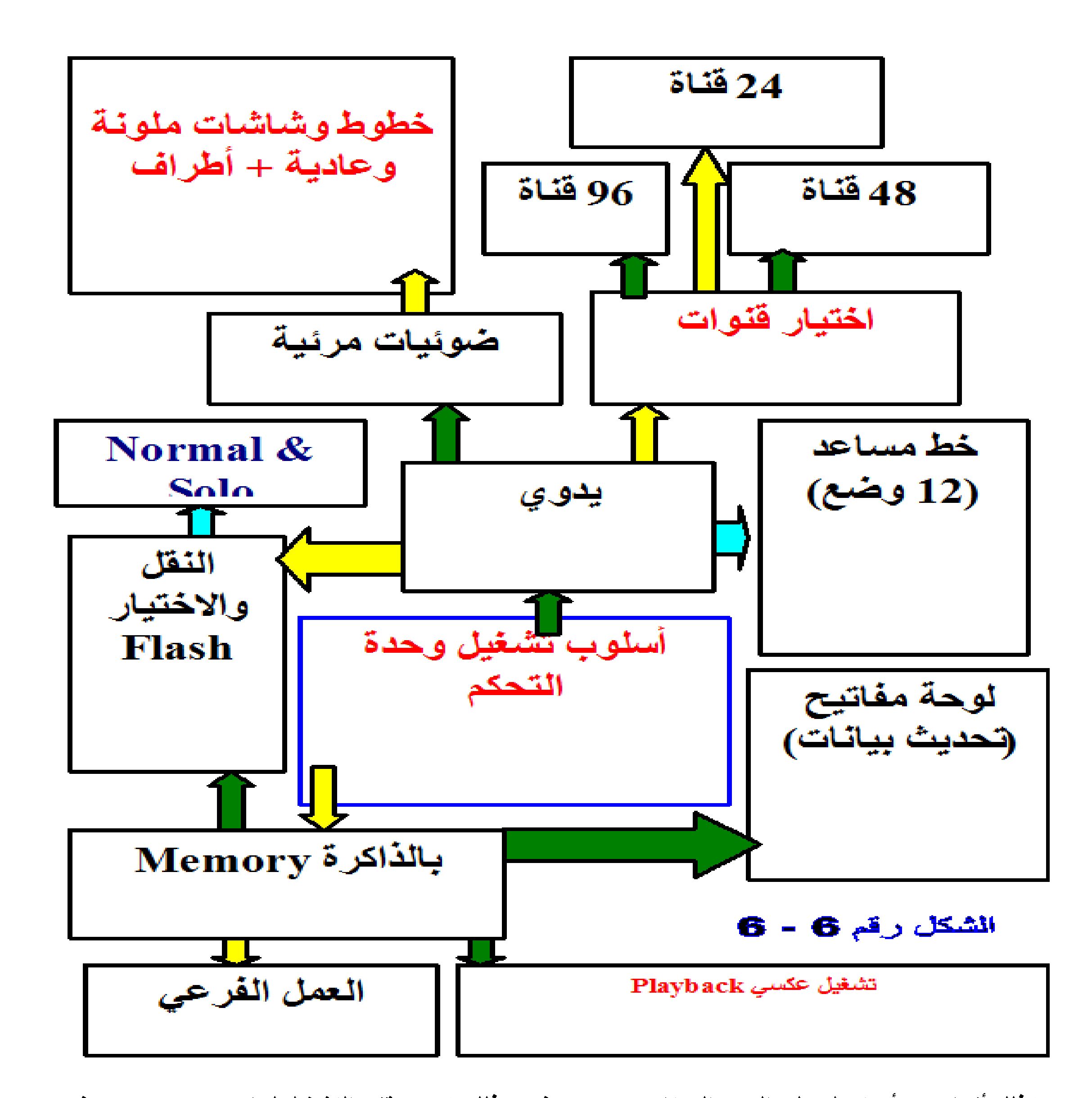



الشكل رقم 6 - 5 : أسلوب التحكم بالمشغلات الدقيقة

يظهر أيضا من الشكل أن الجهاز يعطي إمكانية الإخراج Output سواء كان ذلك علي الطابعة Printer أو من خلال الشاشة العارضة Monitor ويلحق عادة بالجهاز شاشتين أحدهما وهي الأساسية تكون ملونة Color والأخرى من النوع الأبيض والأسود

## ثانيا: وحده تحكم ( Lighting Control Desk)

يجب أن تقع هذه الوحدة من حيث المبدأ في إطار عام يتيح الفرصة للتشغيل بأي من الوسائل المعروفة كما هو موضح بالشكل رقم 6-6 وهما طريقتان فهي إما اليدوية Manual أو الآلية Automatic وهذه الآلية يجب أن تشمل أسلوب التخزين أو الاعتماد علي الذاكرة Memory ( وهو الوضع الآلي فور إغلاق الوضع اليدوي) نسبة إلي المشغلات الدقيقة السابق تحديدها عالية وما يتطلبه ذلك من ضرورة توافر لوحة المفاتيح Key Board معها (لتسرع من عملية نقل الاختيار فورا إلي الذاكرة).

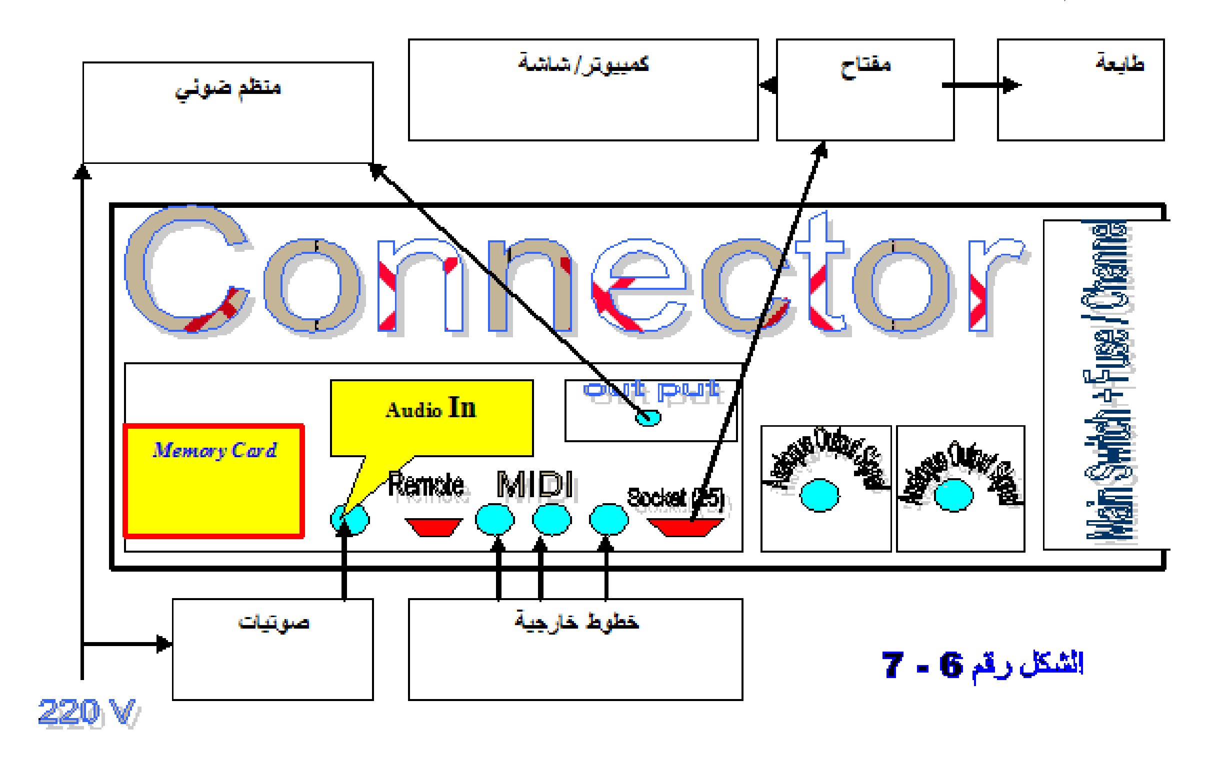


الشكل رقم 6 - 6

وكذلك أنها يجب أن تعمل علي الجهد المعتاد وهو 220 ف وبذلك يكون مقنن التشغيل لها هو 220 – 240 ف مع الذبذبة 50 هيرتز واستهلاك لمقنن التيار بقدر 3- 4 أ ، وهذه الوحدة تنقسم إلي عددا من القنوات يتدرج بصفة رياضية مثل 24 قناة مزدوجة الوضع أو 48 مفردة الوضع أو 96 ، ويضاف إلي هذا كله إمكانية إعادة التشغيل للتأثيرات المختلفة المتواجدة في الذاكرة من خلال 12 وضع وتتميز الوحدة بإتاحة تسجيل كل الخطوات كعملية واحداة علاوة علي إمكانية التعديل الصوتي بجانب الضوئي .
تتمتع هذه الوحدة بعدد من الخواص الفنية مثل :

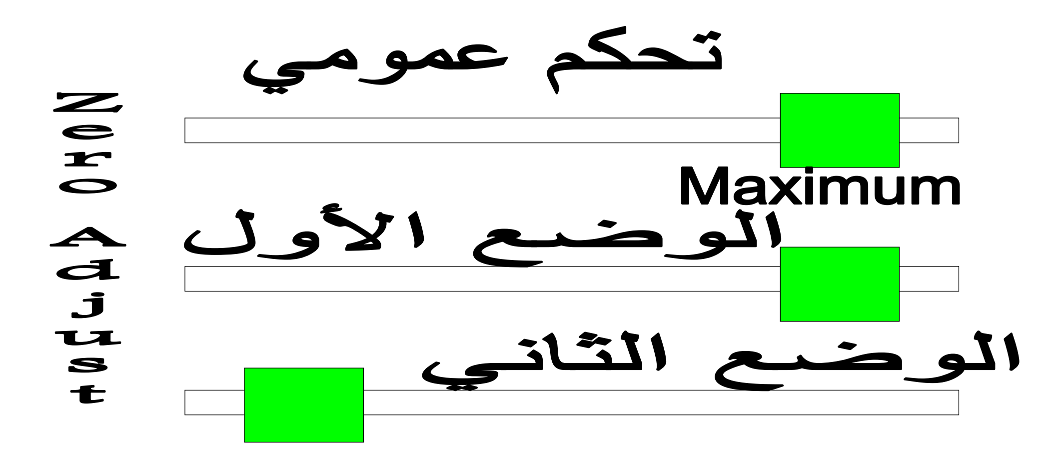
1- إتاحة الفرصة للعمل علي 3 أوضاع متباينة مثل ( Cut, Fade-in / Fade-out, Saw Teeth)

2- إمكانية الحركة في ثلاث أشكال من خلال لوحة المفاتيح لتحميل القنوات منفردة أو مجتمعة سويا وهذه الأشكال هي ( أماما Forward – خلف backward – وضع الاتزان Balance )
3- التعامل مع نظامي القطبية ( موجب أو عادي Normal – سالب أي عكسي Inverse )
4- التحكم الضوئي مع منظم السرعة
5- سهولة خلط الألوان
6- خطوط خارجية مبرمجة
7- حجم الذاكرة Memory والذي قد يصبح منفردا للغرض مثل الأعمال المسرحية كما أنها قد تكون شاملة 20 مغيرا banks عند التعامل مع الموسيقي السريعة والصاخبة لكل 12عملية تشغيل عكسي Play Back مع السماح بالدخول بين الأضواء المسجلة بالذاكرة فعلا من أجل الإضافة أو التعديل.
8- تواجد إمكانية الإضافة المعروفة باسم الباتش Patch بدون حدود لكل قناة مستقلة وبحد أقصى 512 منظم (dimmer) لكل الوحدة علاوة علي 12 خط فرعي قابل للبرمجة انفراديا ويبرز الشكل رقم 6- 7 الشرح التخطيطي للدائرة الأم لمثل هذه الوحدة مبينا عليها أجزائها.




الشكل رقم 6 - 7

9- تعدد مخارج الشاشة حيث تخصيص 48 نهاية حمراء لمخارج LED المعتم لتحديد القنوات العاملة علي خشبه المسرح ومثلها أطراف خضراء للتشغيل في المجال المعتم Blind Mode وتوافر وحدتين LCD لبيان تفاصيل القنوات ومستويات أدائها سواء في مجموعات أو انفراديا وذلك بالاستعانة بمساحة 12 قناة وهي في مجملها تصبح : 2 (40) + 2(16 حرف)
10- تواجد كارت التخزين للتعامل معه Recording & Retrieving لتسجيل البرنامج الضوئي كاملا أو جزئيا .
11- اتساع رقعة التشغيل وتنويعه من خلال تغيير النظام mode التعامل مع الأطراف الخضراء وإصدار الإنذار السمعي عند حدوث خطأ في التوصيل أو الفصل والسماح باختيار البيانات الداخلة وفرصة التعامل مع معاملات الذاكرة الحاسوبية وسهولة برمجة الخطوط الخارجة وفرصة التعامل مع التعديل الصوتي والموسيقي MIDI حيث يمكن إدخال موسيقى خارجية مسجلة أو لا كي يتضمنها التسجيل النهائي بوحدة التحكم .
12- صلاحية التعامل مع التليفزيون من خلال 12 قناة فرعية بأسلوب ( AND / OR ) بالذاكرة مع التحميل جزئيا أو كليا .
13- سهولة إعادة التخزين أو التصحيح المباشر للقنوات الضوئية المسجلة بالذاكرة فورا ودون تعطيل
14- بساطة تحميل الضوء العادي Rock Lighting مع مدي واسع لاختيارات الصوت الموسيقي المصاحب للعرض الضوئي وكذلك التذبذب الضوئي Flickering .
15- السماح بتحميل خطوات متتابعة داخل القنوات وبمستويات متباينة .
16- التحكم اليدوي في تأثيرات فورية مباشرة (12 قناة )

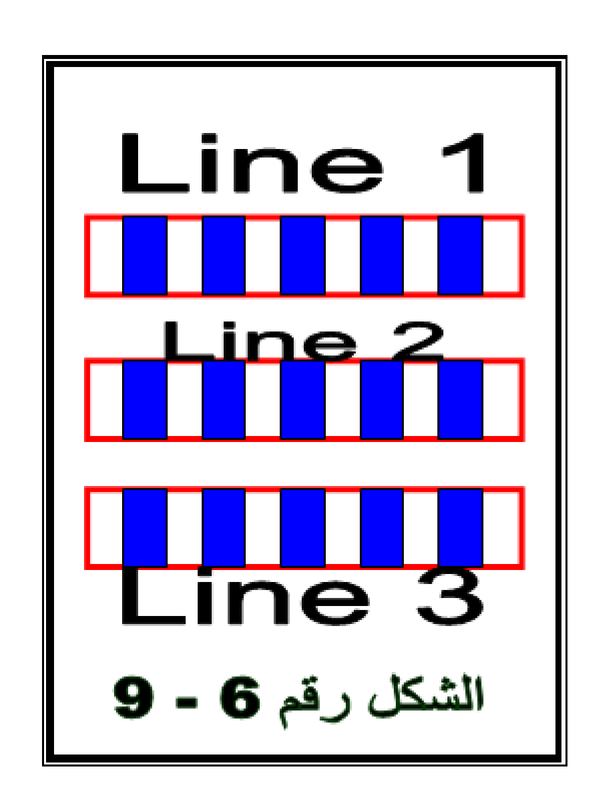



الشكل رقم 6- 8 : تحكم رئيسي

وتعمل هذه الوحدة علي نظام التعميم والتخصيص طبقا لوضعي التشغيل ولذلك نجد في الشكل رقم 6- 8 مفتاحا عموميا للتشغيل ويتبعه مفتاحان (مفتاح لكل وضع لكل قناة) للتحكم في شدة الضوء لكل من القنوات وهي ما تسيطر علي الكشافات الضوئية العاملة علي شبكة المسرح .

## ثالثا : المنظم الضوئي Dimmer

يقوم منظم الضوء بكل أعمال الخلط بين جميع أنواع الإنارة والإضاءة المطلوبة ويتحكم في مستوياتها وأشكالها ومدة عملها وترتيبها ولهذا السبب فهو مناسب للعمل في المسرح والأستوديو بالإضافة إلي الإنارة المعمارية ، وهذه المنظمات الضوئية ذات صفات محددة نوجز أهمها:



الشكل رقم 6 - 9

1- مجهز للعمل الآلي بالحمل المقنن ويمكن التحكم بالأسلوب المحلي
2- اختيارية عالية Selectivity
3- اختبار ذاتي
4- تخزين بالذاكرة مؤجل المحو
5- التخزين لا يتقيد بالزمن ويمكن ذلك لدليل الإضاءة أيضا
6- الدوائر الكهربية متكاملة وتركب رأسيا ( وهو الوضع الأفضل ) أو أفقيا
7- السماح بفصل آلي لنقطة التعادل Neutral
8- القراءات الأساسية فورية لكل الأجهزة العاملة Reporting
9- تشغيل الشاشة مع المحاكي أنالوج Analogue Control
10- صالح للتشغيل المركزي بالنسبة للإضاءة
11- بساطة التركيب وسهولة التشغيل
12- يمكن التعامل مع المصابيح (هالوجين تنجستن– فلورسنت مخصصة – مع محولات جهد منخفض) .

ويوضح الشكل 6-9 المنظر العام لهيكل هذا المنظم كما أن المواصفات الفنية الأساسية Specifications توضع علي النحو في صورة عامة وقابلة للتغير بين هذه الأرقام التالية بالنقص أو الزيادة الطفيفة :

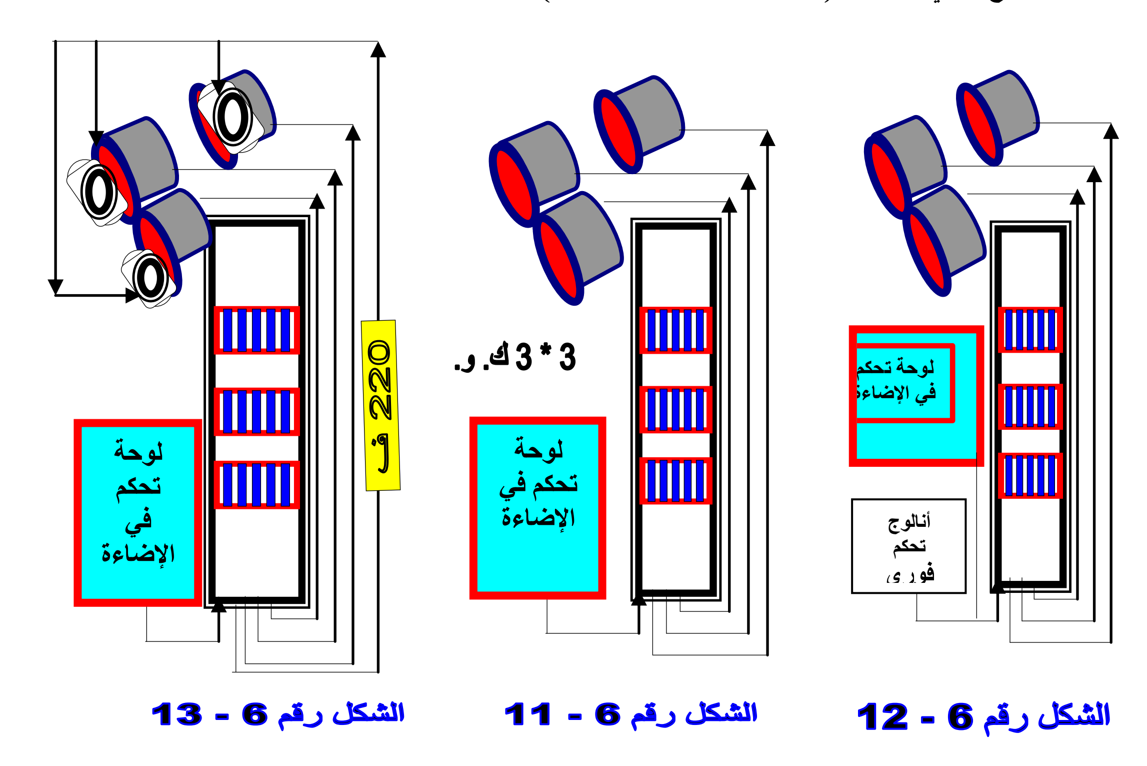
1- القدرة القياسية المعتادة تتراوح بين 24 * 3 ك.و. أو 12 * 5 ك.و. أو 12 * 3 ك.و. + 6 * 5 ك.و. إضافة إلي إمكانية الخلط بينهم .



2- 100 % رقمية الأداء Digital
3- 5 مفتاح * 12 حرف
4- تصل القدرة الكلية إلي أكثر من 60 ك. و. تشغيل مستمر
5- الفقد لا يزيد عن 2-3 %
6- تبريد آلي عالي الكفاءة (مراوح 12 ف مستمر)
7- يستخدم ثيرستور عالي القدرة (50 أ وأكثر)
8- الوقاية بالمصهور عالي القدرة لكل وحدة مستقلة علي حدة
9- يسمح بالتعامل مع الأحمال الحثية Inductive
10- جهد تغذية 220 / 400 ف ، 50/60 هيرتز طور وحيد (300 أ) أو ثلاثي
11- تشخيص ذاتي لتحديد العيوب إذا ظهرت
12- قابل للبرمجة عن بعد
13- عالي الدقة High Resolution حيث تصل خطوات التنعيم إلي 4000 أو أكثر في الأنواع الحديثة .
14- الترشيح عالي الدرجة ( أقل من 200 ميكرو ثانية )

الشكل رقم 6 - 10

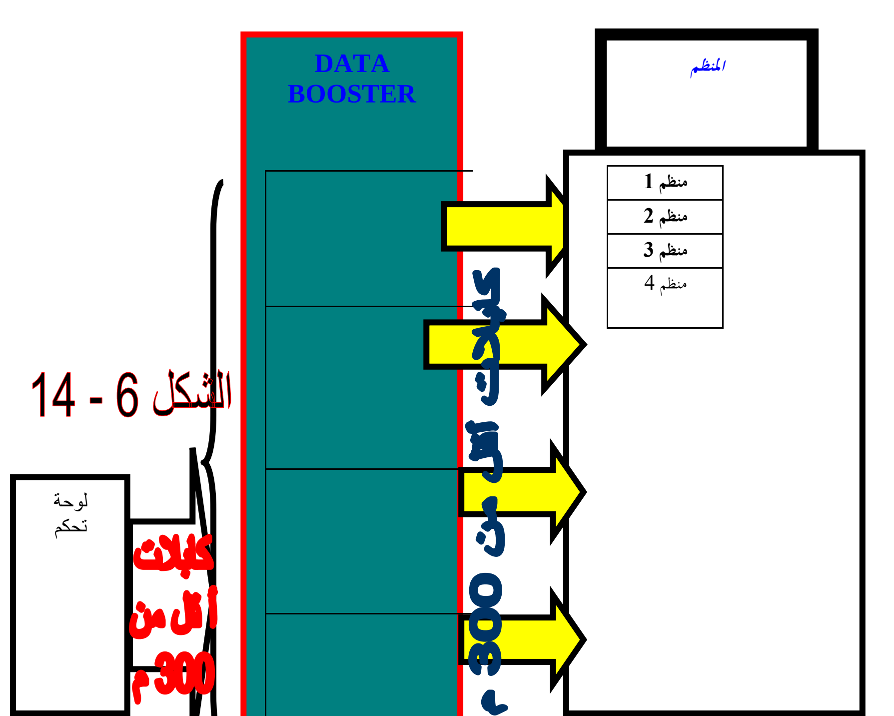
لوحة تحكم في الإضاءة




الشكل رقم 6 - 13 الشكل رقم 6 - 11 الشكل رقم 6 - 12

يظهر في الشكل رقم 6- 10 أربعة وحدات تحتوي عدد 24 منظم ضوئي تتعامل مع وسيلة أنالوج للإدخال أما في الشكل رقم 6-11 نرى وحدة مع إدخال الأنالوج وفي الخروج للتوصيل مع كشافات ضوئية بقدرة 3 ك. و. لكل منهم وكذلك يمكن إضافة لوحة تحكم كما هو وارد في الشكل رقم 6-12 وتعطى المنظومة تطويرا آخر عند التعامل التحكم في الألوان كما في الشكل 6- 13 ومن الهام أن نتبع القواعد الأساسية لضمان الأداء الكامل ولهذا يلزم مراعاة ما يلي:

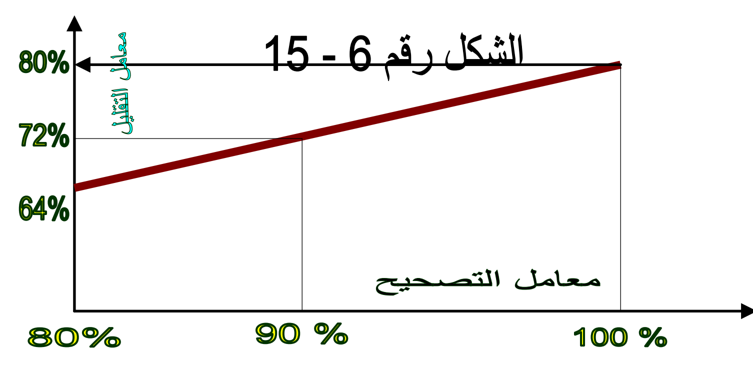
1- ألا يزيد مجموع أطوال الكابلات الموصلة بين المنظمات الضوئية وأطراف التوصيل عن 300 متر
2- في حالة ضرورة التوصيل لمسافات طويلة يتم تقطيع المسافات من خلال مكبر Amplifier والذي يسمي في هذه الحالة مقوى البيانات Data Booster وهو ما نراه بوضوح في الشكل رقم 6- 14 .



الشكل 6 - 14

3- إتاحة الفرصة لكل مرسل أن يتعامل مع أكثر من مستقبل والذي قد يصل إلي 32 مستقبل وهو عدد كاف للتعامل مع دوائر الإضاءة في المجمعات الكبرى
4- يجب الالتزام التام بفصل خطوط التغذية للجهد عن تلك الخطوط الخاصة بنقل الإشارات والبيانات والتحكم.

يعمل كل منظم ضوئي تبعا لقانون Dimmer Law يحدده المستخدم وعادة ما يكون خطيا كما يمكننا وضع قانون موحد لكل المنظمات الضوئية بصفة واحدة كأمر رئيسي للعمل بالإضافة إلي الوضع الأول لكل منظم علي حدة ويكون الجهد الخطي Linear حتى 120 فولت ويتبع نفس التغير مع المصباح الفلورسنت حتى 5 % قبل مستوى الارتفاع الحراري ويصبح القانون مربع العلاقة Square Law للتلفزيون TV ويخصص معامل تصحيح Multiplication Factor لكل منظم ضوئي ، وتجرى عليه الاختبارات التالية :



الشكل رقم 6 - 15

1- Automatic Chaser at 70 %
2- Presence of Control Signal
3- Single Dimmer Flashing at any Level
4- Lighting Cue without Desk
5- Self Test ويتم هذا الاختبار داخليا به

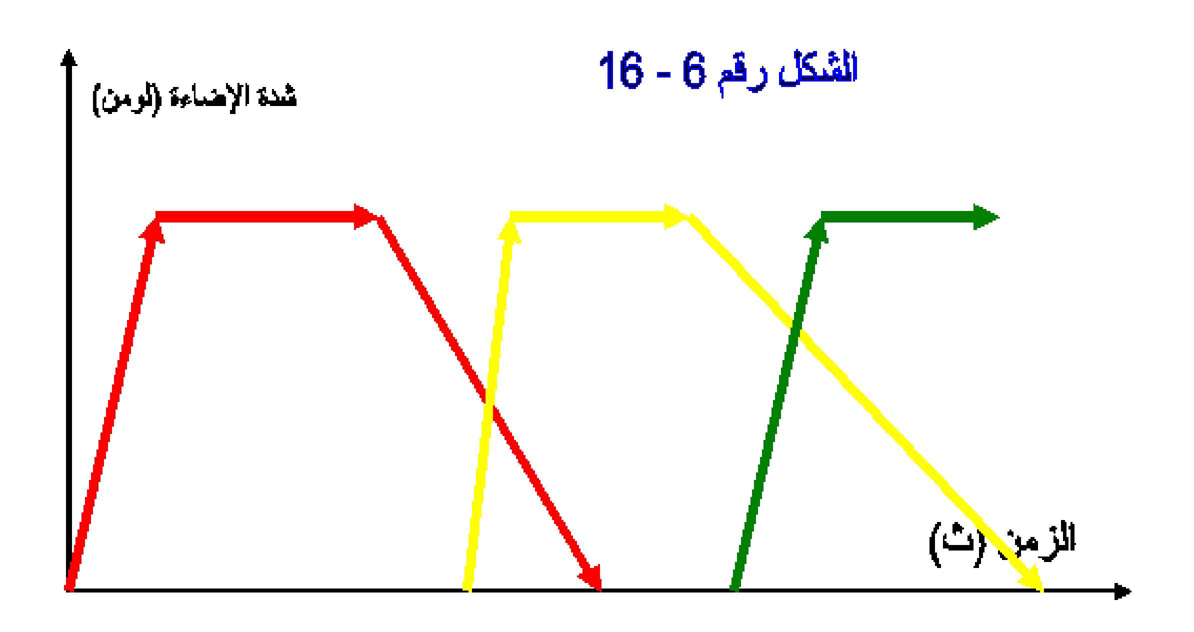
من الناحية الأخرى يكون معامل التصحيح Multiplication Factor مقترحا للتوصل إلي حدودا للإضاءة وهو معطى بالنسبة المئوية كما في الشكل رقم 6- 15 حيث تكون العلاقة الخطية بين كلا من معامل التقليل Reduction Factor ومعامل التصحيح والذي يعتمد في معدله علي نسبة النقل في المنظم الضوئي والذي دائما يقرب 80 % وبهذا نجد معامل التقليل يساوي 64 % إذا كان معامل التصحيح 80 % .

بالنسبة لزمن الإضاءة وضبطه مع المنظم الضوئي كما جاء في الشكل رقم 6- 16 حيث يتم تحميل الإضاءة الأولي بمعدل 1 ثانية من الصفر حتى الحمل المقنن ويستمر الحمل المدة المحددة للإضاءة ويوقف هذا الضوء في زمن إرجاع يبدأ عادة أطول من البدء فيكون 2 – 4 ث أو يزيد وبالمثل حتى العودة إلي الإضاءة الطبيعية بدون المنظمات .

كما يجب توضيح أن القوائم التي تعمل بها هذه الوحدات عبارة عن أربعة وهي :

1- قائمة المصنع فقط Factory Menu وهي من النوع الذي يكتب فيه بالمصنع ويصبح بعد ذلك للقراءة فقط ROM ولا يستطيع المستخدم التعامل مع أي تعديل لها بل عليه استخدامها .
2- قائمة لبدء التجهيز والإعداد للتشغيل وهذه تخص القائمين علي التشغيل
3- قائمة التشغيل الآلي وهي أيضا مكملة للسابقة وتخص العاملين ومن الممكن فيهما التسجيل والتغيير والتعديل حسب الحاجة ورغبة المشغل .

4- قائمة الصيانة **Maintenance Menu** وهي تخص المتخصص فقط دون غيره كما أنه لا يجوز فتح هذه الوحدات من غير المختص .




## رابعا : السيكلوراما cyclorama light

تختص السيكلوراما بإضاءة عامة وشاملة واسعة الزوايا **Flood Light** وهي تتكون من حيث المبدأ من مصباح شديد الإضاءة له عاكسين في وضع غير متماثل ولذلك فهو يناسب الضوء اللازم في أستوديو التصوير سواء العادي أو التلفزيوني أو في الاجتماعات وكذلك يناسب خشبة المسرح للتمثيل أو في الحفلات وهو ينتج علي شكل إما وحدات منفردة مستقلة أو زوجية الأرقام أي 2 أو 4 أو 6 وهكذا، ومن هذه الجهة فهذا النوع يصلح للمسارح المدرسية وأندية الشباب الرياضية وكذلك للمتاجر وتصدر في وحدات مقننة من مصابيح تنجستن هالوجين بوحدات الوات القياسية مثل 100 ، 150 ، 250 ، 300 ، 625 ، 1000 ، 1250 وأخيرا بالنسبة للخواص الأساسية فهي:

جدول رقم 6- 1 : بعض كشافات السيكلوراما

| قدرة (ك. و. ) | زاوية الإضاءة | شدة الإضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 0.25 | 59 | 261 |
| 0.5 | 60,5<br>66 | 475 |
| 1 | 68,5<br>84 | 360 |
| 1.25 | | 1350<br>4550 |

1- أسلوب تبريد أساسي وعادة يكون الطبيعي لإطالة عمر المصباح حيث درجة الحرارة المعتادة أثناء التشغيل تساوي ما يقرب من 3200 درجة بمقياس كلفن
2- مصابيح شديدة النقاء clear & frosted lamps
3- غطاء من شبكة معدنية واقية يسبقها الجلاتين ( المرشح عالي الخواص ) باللون المطلوب أو الزجاج الملون
4- تكون الوحدات بغلاف أسود اللون مع زجاج الأمان
5- سهلة الترتيب في مجموعات أو بزوايا مختلفة
6- مزودة بأطراف توصيل متعددة تسهل مهمة تشغيلهم فرادى أو في عدة قنوات أو واحدة منهم فقط.
7- يمثل الجدول رقم 6- 1 بعضا منها حيث تكون زاوية الإضاءة ثابتة تناسب الأعمال المسرحية.

يتواجد منها أيضا نوعيات تناسب مواقع الأستوديو للتصوير السينمائي كما جاءت في الجدول رقم 6- 2 والتي يتم تحميلها علي حامل ويكون لها مدي للزوايا مثل الكشافات أيضا.

جدول رقم 6- 2 : بعض كشافات السيكلوراما العاملة علي حامل

| قدرة (ك. و. ) | مدي زاوية الإضاءة | شدة الإضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 0.5 | 41,5-14 | 1008 |
| 0.65 | 60 | 2950 |
| 1 | 56-12 | 1825 |
| 1,2 | 59,5-9 | 1950 |
| 2 | 56,5-9,5 | 1600 |
| 2,5 | 45-8,5<br>49-9 | 1900<br>1900 |
| 5 | 58-11,5<br>55-14<br>56,5-12,5<br>62-11 | 1915<br>2000<br>1850<br>2450 |
| 10 | 47-12,5 | 1950 |

ومنها أيضا ما يتم تعليقه كما هو وارد في الجدول رقم 6- 3 .

جدول رقم 6- 3 : كشافات السيلكلوراما تعليق أستوديو

| قدرة (ك. و. ) | مدي زاوية الإضاءة | شدة الإضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 0.072 | 107-91 | 270 |
| 0,216 | 107-106 | 750 |
| 1,25 | 95 * 62 | 1200 |
| 2,5 | 64 * 99 | 1000 |
| 5 | 105 * 68 | 892 |

ويظهر منه النوعيات متنقلة محمولة تلائم التنقل والتصوير الخارجي أو اللقاءات العابرة المرئية ويظهر أحدها في الجدول رقم 6- 4 حيث ينتج منها وحدات قياسية بقدرة 200 ، 300 ، 500 ، 800 ، 1000 وات .

جدول رقم 6- 4 : أحد كشافات السيلكلوراما المحمولة

| قدرة (ك. و. ) | زاوية الإضاءة | شدة الإضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 1 | 98 | 440 |

**خامسا : الإضاءة النقطية Spot Light**

نستعين في هذا المجال بالكشافات Projectors شديدة الضوء ولكنها تأخذ الصفات التالية

الجدول رقم 6- 5 : بعض الكشافات وشدة إضاءتها بالزوايا المتباينة

| قدرة (و) | مدى الزاوية | إضاءة (لوكس) | عدسات |
|---|---|---|---|
| 75 - 50 | 50-39 | 240 | بروفيل |
| 150 | 47-9,3<br>38-26 | 1200<br>1000 | محدب |
| أبيض 300-500<br>أسود | 53-13<br>55,5-7,5 | 937-360<br>1963-350 | مضغوط |
| 650 | 40-10<br>55,5-7,5<br>40-22<br>40-9<br>30-16<br>40-28 | 1525<br>1700 أو 800<br>1100<br>1040<br>1000<br>542 | محدب<br>منشور أو مضغوط<br>زووم<br>محدب<br>زووم<br>زووم |
| 1200 | 17-8<br>42-15<br>50,7-8,7<br>52,7-4,5<br>26-11<br>32-18<br>44-26 | 1480<br>1180<br>590<br>490<br>1230-1150<br>1190<br>770 | بروفيل<br>مع مكثف |
| 2500 | 26-10<br>38-15<br>57-7<br>58-4<br>16-8<br>32-14<br>38-20 | 836<br>1049<br>900<br>1400<br>1000<br>985<br>1050 | مضغوط مع مكثف<br><br>محدب<br><br>زووم |
| 2000 | 15-9 | 1445/1890 | زووم |
| 1000 | 15-9 | 1625 | زووم |

1- خفة الوزن ولذلك تصنع عادة من سبائك الألومنيوم أو الصلب الرقيق والمعالج كي يكون قويا لتحمل الاهتزازات Vibrations .

2- عالي التحمل الديناميكي .

3- تكون الخامات الداخلة في المكونات من مواد غير قابلة للصدأ وضد التآكل وضد التأثير الحراري ، ولهذا نعتمد علي التبريد الطبيعي natural cooling من أجل إطالة عمر المصباح .

4- دهان ثابت وذلك من خلال الترسيب الكهربي ويفضل اللون الأسود منعا للتداخل الضوئي ولوقف التأثيرات الانعكاسية .

5- منع ظهور أي حروف وحواف حادة

6- سهل الحركة والتنقل أفقيا ورأسيا وفي المناطق الضيقة وإمكان تعليقة أو تحميله علي حامل مع إمكانية تغيير موضع التثبيت .

7- وضع وسيلة تبريد مباشر للتخلص من الإرهاق الضوئي.

8- تواجد شبكة سلكية واقية علي وجه الكشاف وبخلفها مجرى لتركيب الغطاء اللوني للضوء المطلوب ( الجلاتين ) Gel وقد يستعاض عنه بالزجاج النقي الملون .

9- عاكس كروي مصقول وعادة يصنع من سبائك الألومنيوم .

10- وضع يد Knob لتسهيل مهمة تغيير وضع تشغيل الكشاف من شعاع مركز ( Beam / Spot ) إلي إضاءة واسعة النطاق (Flood) .

11- تواجد وسائل ضوئية من العدسات عالية الكفاءة .

12- مصابيح عالية الكفاءة ضوئيا قليلة الإنتاج الحراري مثل الهالوجين كوارتز.

تعمل هذه الكشافات علي الجهد المعتاد ويكون لها المقنن 220 – 250 ف بالذبذبة 50 / 60 هيرتز وقد يستخدم المصباح تنجستن هالوجين ونري في الجدول رقم 6-5 بعضا من هذه النوعيات لتلك الكشافات التي تعمل مع الجهد 220 ف .

يعتمد التباين علي طريقة الاستخدام فكل ما سبق من عرض قد شمل الإضاءة ثابتة الحركة بينما تتواجد نفس الطريقة للإضاءة المحمولة مثل التصوير الخارجي في التحقيقات والتلفزيون وغيرهما ففي الجدول رقم 6-6عددا من هذه الكشافات المتنقلة والعاملة علي الجهد 220 ف .

الجدول رقم 6 -6 : بعض الكشافات المحولة المنقولة

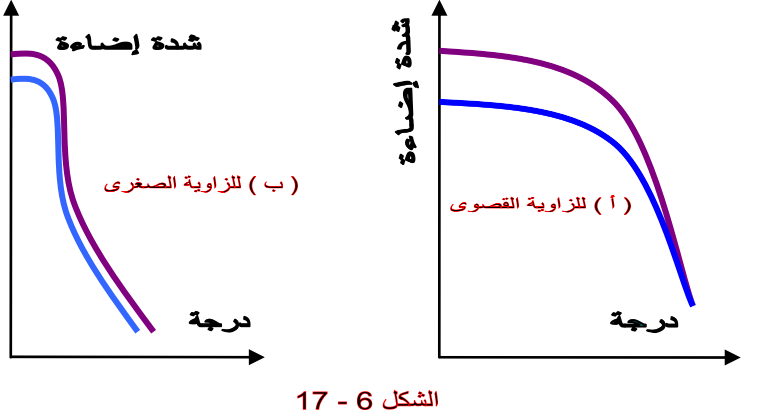
| قدرة (ك.و.) | زاوية ( ˚ ) | إضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 0,65 | 70-27,5 | 4155 |
| 1-0,8 | 87-47 | 740 |
| 2 | 72-27,5 | 1310 |
| 0.2 | 55-18 | 1470 |
| 0,1 | 60-36 | 720 |
| 0.25 | 52-36 | 600 |
| 0.3 | 70-22 | 1140 |

## سادسا: مدي الإضاءة zoom profile

الجدول رقم 6 -7: بعض الطرز من الكشافات قدرة 1 أو 1.2(ك.و.) وزاوية الانتشار .

| زاوية المجال | زاوية الشعاع | طراز |
|---|---|---|
| 58-8 / 16-10 / 65-10 / 65-5 | | عدسات محدبة بمكثف |
| 42-15 / 36-13 / 23 -11 | 31-15 / 18-9 / 20-9 | عدسات محدبة |

تتباين هذه المصابيح والكشافات حسب الصناعة والغرض منها فيحدد في الجدول رقم 6 -7 ببعض الطرز من الكشافات مبينا لها الاعتماد علي زاوية الانتشار وتهم هذه الزوايا العاملين في الأوبرا بالذات والأعمال الراقية المشابهة حيث يحتاج إلي الزوايا الصغيرة والتي تصل إلي 4 درجات بينما النوع العادي وهو الأرخص بكثير ففيه الزوايا تبدأ من القيم المتوسطة حول 15 أو ما يزيد عن ذلك ويبين الجدول رقم 6- 7 بعضا من هذه الطرز لزوايا مختلفة .




الشكل 6 - 17

نستخلص من هذا الجدول مجالين للزوايا فالأول يخص المجال وهو ما يعني أوسع إضاءة متاحة من الكشاف والثاني يغطي حالة التركيز الشعاعي ولهذا نزيد إيضاحا لذلك من خلال الجدول رقم 6- 8 حيث يعرض نوعيات منها ببعض الزوايا عند الحدود القصوى وهي للمجال Flood وأيضا الدنيا للشعاع الضوئي Beam ، كما تتغير درجة حرارة هذه الكشافات بين 3000 و 3200 درجة كلفن، والموضوع لا يتوقف هنا بل يصل بنا إلي بعض الخصائص الفنية الهامة من الناحية الضوئية وإذا بالجدول رقم 6- 8 يجدول لنا عددا من هذه الخصائص لعدد من الكشافات المقننة في الأسواق . نفس المعني نستقيه من الشكل 6-17 حيث يعرض المنحنيات لنوعين من الكشافات بقدرات مختلفة ويظهر هذا التباين في القيمة المحورية بالكانديلا للضوء كما في الجدول رقم 6- 8 .

الجدول رقم 6- 8: كشافات ضوئية بوحدات قدرة (كيلو وات) والزوايا القصوى والدنيا .

| قدرة (ك. و. ) | زاوية مجال | زاوية شعاع | إضاءة (1000 لومن) | ضوء محوري للمجال (1000 كانديلا) | ضوء محوري للشعاع (1000 كانديلا) | عمر المصباح (س) | عدسات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61-7 | 56-4 | 26 | 7.6 | 216 | 750/200 | منشور محدب |
| 1.2 | 61-7 | 56-4 | 30 | 9.3 | 266 | 400/200 | منشور محدب |
| 1 | 59-13 | 61-12 | 26 | 13 | 136 | 750/200 | محدب |
| 1.2 | 59-13 | 52-7.5 | 30 | 16 | 172 | 400/200 | محدب |
| 1 | 42-15 | | 26 | 21,6 | 96 | 750/200 | زووم |
| 1.2 | 42-15 | | 30 | 25.3 | 115 | 400/200 | زووم |

من الجهة الأخرى من تلك الكشافات ذات الزوايا والمدى الواسع أو الضيق لها تتواجد كشافات من نفس النوعية ولكنها بزاوية ثابتة مثل ما نعرض في الجدول رقم 6- 9 حيث تعمل علي الجهد 220 فولت أيضا وعادة تكون من الطراز بروفيل Profile . نتوقف هنا مع هذه البيانات ونضع في الشكل رقم 6- 24 التصرف التلقائي في العلاقة بين كلا من درجة أو زاوية الإضاءة وشدة الإضاءة بوحدات ( 1000 كانديلا ) عند النهايات العظمى (أ) والصغرى (ب) بالشكل .

جدول رقم 6- 9 : كشافات بزاوية ضوء ثابتة

| قدرة (و) | مدى الزاوية | إضاءة (لوكس) | مدي المسافة (م) |
|---|---|---|---|
| 650 | 25 | 975 | 6 |
| 1000 | 15 | 1200 | 20-15 |
| 1000 | 20 | 1000 | 18-14 |
| 1000 | 30 | 1100 | 15-12 |
| 1000 | 40 | 1000 | 12-10 |
| 1000 | 50 | 1000 | 10-8 |
| 1000 | 7 | 2350 | 24 |
| 500 | 6,9 | 3000 | 15 |

## سابعا : نظم التركيز الضوئية optical concentration systems

نتعامل مع نظم العدسات التي يجب أن تكون بأعلى درجات النقاء وبها نستطيع تحويل الشعاع المركزي من المصباح والذي يقع في بؤرة العدسة الأولي إلي شعاع مركز في شكل حلقي يخرج من الكشاف إلي السطح المراد إضاءته بصفة مركزة خصوصا داخل الظلام الدامس إن صح التعبير.

كما تتوزع هذه الوحدات الضوئية علي الأماكن المختلفة علي النحو التالي:

### (ا) الشواية Grill

الشواية تمثل المطبخ الخاص بعملية الطهو في الأعمال الضوئية وتتكون الشواية من عدد من المسارات لكل مجموعة من الكشافات وتعلق عليها وهي تصنع من المعادن الملساء والقوية مثل الصلب أو السبائك المعدنية عالية المقاومة للضغوط الميكانيكية ويضاف إلي هذا أن الشواية قد تأخذ مسارات متعددة وتعرف بعدد هذه المسارات ويسمي فنيا كل مسار باسم سكة وتصبح الشواية 4 سكة أو 5 سكة مثلا ويتم تركيبها فوق خشبه المسرح تماما ويكون إلقاء الضوء من أعلي علي أرضية المسرح.

وهذه الشواية تتحرك بشكل هندسي علي الثلاث محاور حيث يعرض الحركة في المستوي الأفقي Horizontal ثم الحركة الرأسية Vertical وذلك للتحكم في شدة الضوء المسلط علي الموقع أو الفرد أو المجسم الهدف المنشود Goal وهذا يؤكد علي بساطة العمل بها سواء كان هذا العمل يدويا أو آليا أ وكليهما منفصلين أو في آن واحد ، أما من الناحية الأخرى فتعطي الفرصة للأداء الفني وبالتقنية المحددة من خلال الأنواع المختلفة مثل :

**1- الإضاءة المباشرة Direct وهي ما سبق الحديث عنها في الباب السابق وتشمل كل ما يخص المصابيح وطرق التعامل مع العاكس إلي غير ذلك من المعاملات**
**2- الإضاءة غير المباشرة Indirect وهي تلك الإضاءة التي تأتي من خلال الظل وشبه الظل ونتعامل معها في المسارح وقاعاتها وفي الملاهي الليلية وفي المطاعم الفاخرة**
**3- الإضاءة المتقطعة Flickering Light فهي تخص الأعمال الإعلانية والدعاية وفي بعض الأحوال للوضع الخطأ مثل مصابيح الإرشاد الضوئي في غرف التحكم وتستخدم بكثرة مع الاحتفالات والأعياد**
**4- الإضاءة المتغيرة (غير الثابتة) varying Light هذه النوعية هي التي تتغير فيها شعلة الضوء أي الشعاع الضوئي ويتحرك مع الممثل علي المسرح كما يتحرك تماما وقد تأخذ أشكالا عديدة ومن هذا التغير ثلاث محاور هي**

## المحور الأول : لون الإضاءة Color

**حيث يتحدد اللون تبعا للمعني المنوط به ويتم ذلك من خلال الجلاتين**

## المحور الثاني : درجة الإضاءة Luminance

**حيث نحتاج إلي ضوء خافت فيليه العالي ثم المبهر وهكذا**

## المحور الثالث : اتجاه الإضاءة Light Direction

**حيث يتم التغيير بأسلوب ديناميكي وبذلك تعرف من الحركة نوعان فهي أما أن تكون دائرية Circular أو مستقيمة Straight علي خشبه المسرح .**

**نجد أن الشواية عبارة عن هيكل جمالوني معدني مثبت أعلي خشبة المسرح بالقرب من السقف ويماثل تماما الشواية الصغيرة الخاصة بمأكولات الكباب في المطاعم حيث يتم تركيب محركات كهربائية لكل جزء متحرك بها ويجوز وضع حبال التعليق للكشافات كي تعمل يدويا غير أن الأسلوب الآلي هو الأفضل بالرغم من ارتفاع سعره ، وهي لا تظهر للمشاهد لأنها تختفي خلف البرقع من أعلي وخلف البنطلون علي الجانبين حيث توضع هذه الكشافات تبعا لزاوية الرؤية من أول المشاهدين في أول صف بقاعة المسرح ولكنها تكون ظاهرة تماما في المسارح الصيفية والمواقع المفتوحة مثل الحفلات الكبرى والقومية في الملاعب الدولية .**

## (ب) الإضاءة الأمامية Front

**من الاستخدامات الأخرى غير المسرحية تلك التي نحتاج إليها في تجميل الآثار والمباني الهامة فنجدها تعمل أيضا هذه الكشافات علي التجميل لواجهات المباني والآثار والمدارس النموذجية والمتاحف القومية ولذلك نجد بعضا من هذه النوعيات المناسبة في الجدول 6- 10 حيث تعمل كلها بنظام الملف الخانق Ballast وتتميز بالضوء النهاري Day Light الساطع .**

**ويمكن الاستعانة بهذه النوعية لإضاءة المباني من الناحية الجانبية أيضا وتكون بذلك الإضاءة الجانبية Side مثل تلك الأمامية لما قد تضفي علي المبني أو المسرح من جمال أو تضع خلفية ذات معني متواكب مع المطلوب في المشهد ، ويجوز الانتفاع بها أيضا في الإضاءة الأرضية Floor تحت أقدام الممثلين أو حتى في إضاءة الحائط المواجه أمام المشاهدين .**

## ثامنا: استخدام المرشحات ( الجلاتين) اللونية color filters

**تعتبر المرشحات الضوئية من أولويات العمل المسرحي لأنها تتعلق بالألوان وهي ما تضفي علي المسرح رونقه وهكذا تصبح المرشحات الضوئية والمعروفة فنيا باسم الجلاتين هامة وبالرغم من أن التركيز الحراري عليها عاليا فتسبب انهيارها وبالتالي تحتاج إلي التغيير المستمر وهو ما يلزم التعامل معه علي أنه أمر واقع وما يتبعه من ضرورة تجهيز العدد الوفير منها بالألوان المختلفة ومنها ما يعرض بالأسواق في شكل ألواح قابلة للتقطيع أو في شكل مجهز بالمقاس المقنن والذي يقبل التركيب المباشر لكل كشاف .**

الجدول رقم 6- 10 : كشافات إضاءة للمواقع والواجهات

| قدرة ( و.) | زاوية (ْ ) | إضاءة (لوكس) |
|---|---|---|
| 1200 | 21-3 | 1315 |
| 2500 | 46-3 | 2125 |
| 4000 | 44-4 | 2875 |
| 2500 | 60-7 | 2000 |
| 4000 | 72-9 | 2000 |
| 575 | 47-8 | 2000 |
| 1200 | 53-6 | 2000 |
| 2500 | 62-7 | 2000 |
| 4000 | 52,5-8,5 | 2000 |
| 6000 | 48-7,5 | 2000 |
| 575 | 89 * 52 | 900 |
| 1200 | 78 * 90 | 860 |

## 3-6: إشارات المرور Traffic Signals

تطويرا لما سبق الحديث عنه نجد أن التحكم الآلي Automatic Control في تشغيل إشارات المرور ما هو إلا صورة متقدمة مما جاء بالنسبة للأضواء المسرحية خصوصا وأننا نتجه إلي التشغيل الآلي في كل ما نتعامل معه مادام آمنا وصحيا كما أنه من الضروري توضيح أن كل تقاطع يجمع بين 6 مصابيح في كل جانب في حالة التقاطع المزدوج فيكون إجمالي عددهم هو (4 أعمدة إشارات x 6 مصابيح بالعامود الواحد أي 24 مصباح ) ويصبح ( 6 أعمدة x 6 مصابيح ) للتقاطع الثلاثي علي الأقل لأنه قد يتضاعف هذا العدد إذا ما استخدمت الإشارات المعلقة بجانب تلك الثابتة أو استخدمت الإشارات علي الجانبين بدلا من الجانب الواحد وبهذا نضع موضوع هذه الإشارات في محورين هما :

## أولا: الموقع المفرد Single Crossing

يقصد بالموقع المفرد هو العبور المتعدد في ميدان أو مفارق الطرق ومن ثم يكون فيه التشغيل من نوعان :

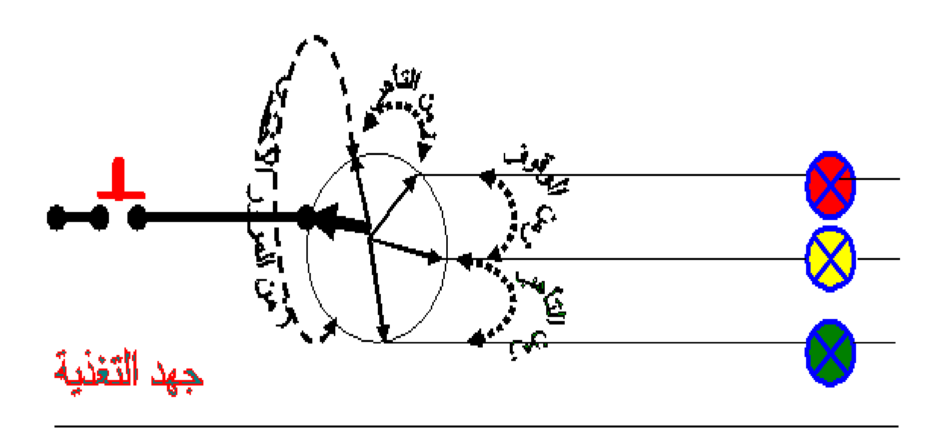
## النوع الأول : التشغيل اليدوي Manual Operation

هو ما يتم الاعتماد عليه في حالات حرجة والزحام المفاجئ في أوقات طارئة Emergency Times ويكون بديلا عن النوع التالي وهو ما يعتمد علي الخبرة البشرية Human Experience والحالة العامة لحركة المرور علي الطرق المتقاطعة سواء كان أحدهما أو أكثر من الطرق الرئيسية ، عندئذ يكون العمل من خلال المنظومة (ON / OFF ) .

## النوع الثاني : التشغيل الآلي Automatic Operation

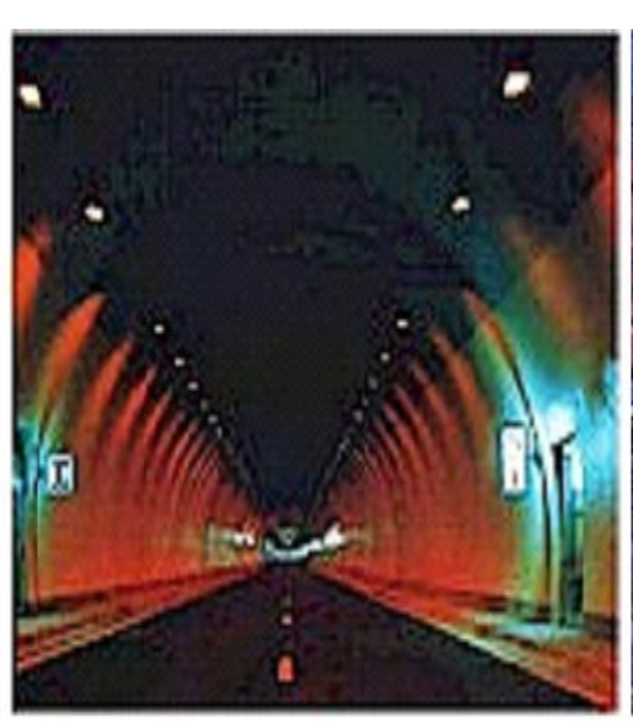
هذا النوع يترجم الخبرة البشرية إلي ضبط وإيقاع زمني Time Schedule يمكن تحديده من خلال ساعة زمنية وهي التي تجعل التشغيل للأضواء في الإشارة يزيد عن الآخر أو يتساوى معه وهو ما يجعل التعامل مع هذه الإشارات متاحا بأي من النوعين المحددين وقد يأخذ هذا التعامل من خلال نظام مبسط بتوصيل التوقيت في دوائر كهربية لتشغيل الضوء المطلوب تبعا لدوره في الإشارة ، وهو ما يتبع عمل الساعة الزمنية المتصلة بالدائرة علي التوالي مع مصباح الإشارة ويكون ذلك مبينا في الشكل رقم 6-18 . ومن الشكل يظهر أن التوقيت الزمني متسلسل بشكل متتابع علي زمن الدوران الكلي للساعة التوقيتية فمثلا يكون الدوران الكلي عبارة عن 5 دقائق أي أن الدورة الزمنية هي 5 ق بينما تنقسم هذه الدقائق إلي 3 دقائق مرور أخضر ودقيقة ونصف الدقيقة وقوف وتتبقى نصف الدقيقة تنقسم إلي فترتين للون الأصفر ويعطي فترتي التأهب بزمن ربع دقيقة لكل منهما وتدور العقارب علي هذا النحو ، أما بالنسبة للدائرة الكهربية فيكون المنبع عادة من تيار مستمر وبجهد قليل ويكون المفتاح لتشغيل الدائرة الآلية أو فصلها عند العمل اليدوي وهذا المفتاح يوصل الجهد الموجب إلي مؤشر الساعة الزمنية المتحرك بينما هناك عددا من العقارب الثابتة عليها قد يكون ثلاث أو أكثر وكل منهم يضبط علي التوقيت المطلوب داخل الدورة الزمنية كما هو مبين علي الشكل ومن ثم يصل العقرب المتحرك وعليه الجهد ويتصل بالعقرب الثابت فور التلامس معه عند الوصول الزمني المحدد من قبل فينقل الجهد إلي المؤشر الثابت وهو متصل بالمصباح ذو اللون المحدد وهذه المصابيح جميعا متصلة بالطرف الثاني من المنبع فتقفل

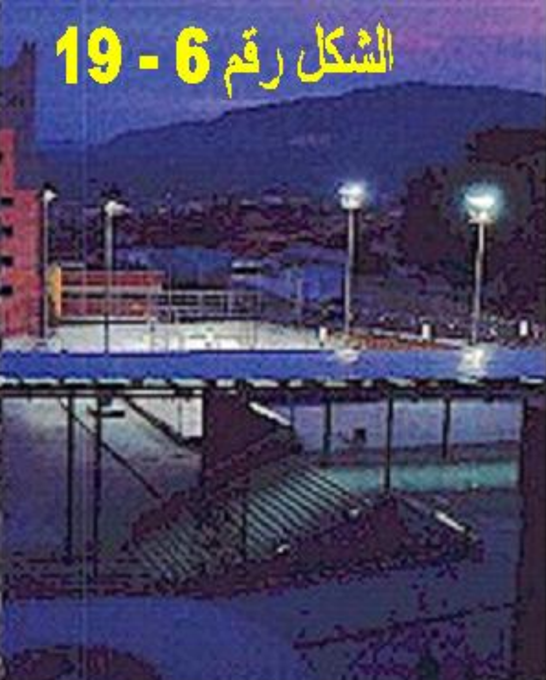
الدائرة الكهربية ويضيء هذا المصباح. وهذا تم وضعه في هذا الإطار من الشرح لتوضيح أسس العمل مع الدوائر الحديثة متقدمة التقنية مثل تلك التي تخص الإضاءة المسرحية . من هذا الشكل نستطيع وضع الدورة الزمنية للألوان علي النحو التالي : ( 1,5 ق أحمر + 0.25 ق أصفر + 3 ق أخضر + 0.25 أصفر ) ويمكن الاعتماد علي منظومة الحاكمات المنطقية المبرمجة في التعامل مع كل هذه الصفات .




الشكل 6 - 18 : تشغيل الساعة الآلية لإشارة المرور في المدن

لا تتوقف أهمية أحمال الإضاءة عند حد كلا من دور المسرح والسينما والأوبرا ومثيلتها بجانب تلك الحالات المرورية التي تعمل آليا وتعرف باسم الطريق الأخضر خصوصا مع الإزدحام المتزايد داخل المدن بل يمتد إلي لإضاءة الأماكن المختلفة مثل إنارة المدينة (الشكل رقم 6 – 19) ككل أو إنارة الشوارع والطرق أو إضاءة الأماكن الهامة مثل الإستاد الرياضي أو المستشفيات والمدارس والشواطئ الساحلية وكلها وغيرها تمثل من الأهمية البالغة كي تدخل في الاعتبار عند التخطيط لكهربة المدن وبهذه المناسبة ومع التركيز علي المواصفات القياسية لمواكبة الزلازل وظهور كود الزلازل وعلي نفس القياس تحتاج كهربة المدن إلي كود واضح وملزم للتصميمات بما تشمله من ضرورة وضع أحمال للطوارىء لكل مدينة وتوفير وحدات التوليد للطوارىء مثل وحدات ماكينات الديزل لتجابه الظروف الطارئة كما يحتاج التصميم للشبكات في المدن بتخصيص قدرات كهربية إضافية في كل منطقة من تقسيم المدينة لتغطية أعمال مكافحة الحريق بجانب الوحدات البشرية المختصة بمعداتها .





# References المراجع

محمد حامد : التركيبات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – 1998
محمد محمد حامد : الأحمال الكهربائية – القاهرة - 2000.
محمد محمد حامد : الشبكات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – القاهرة - 1999
آسر علي زكي وحسن الكمشوشي : هندسة الإضاءة .
مجلة المهندسون - العدد 49 ، 54
كاميليا يوسف محمد : الإضاءة وتوفير الطاقة –
محمد محمد حامد : الصيانة الكهربائية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية - القاهرة – 2001
محمد محمد حامد : الوقاية في الشبكات الكهربائية – القاهرة - 2000.

**G. G. Tiranovsky: Mechanisms of Cable Works in Energy Projects, vol 437, Energia, Moscow 1976.**
**V. Manoilov: Electricity and Human, Mir, Moscow, 1975.**
**V. Manoilov:, Fundamentals of Electric Safety Mir, Moscow, 1975.**
**Vacuum Circuit Breakers, Manual, ASEA Brown Boveri, Germany.**
**V. Privezentsev et al: Fundamentals of Cable Engineering. Mir, 1973.**
**AEI Cables Limited : Cables with Reduced Smoke, Toxicity and Fire Protection, 1984, Paris, France.**
**N. V. Suryaga Rayana : Utilization of Electric Power**
**Lighting Technology – A Guide for The Entertainment Industry – Brainfitt & Doe Thornley**
**Cayless & Marsdan : Lamps & Lighting**
**Michael Neidle : Emergency & Security Lighting – 1988**
**Marc Schiler : Simplified Design – Building Lighting – 1992**
**Siemens Lighting Catalogue - 1994**
**Glamox Lighting Catalogue – 1994**
**EGS Electrical Group ECM France.**
**Recommended Practice for DMX 512, Professional Light & Sound Association (PLASA)**
**WWW. ELMACO-EGYPT.COM**
**www.carrier.com**
**www.b-tech.com.eg**
**www.graybar.com**
**www.eclipse.modicon.com**
**www.westernpropertyadvisors.com**
**www.iesd.dmu.ac.uk**

رقم الإيداع **11616 / 2002**
**ISBN 977 – 6079 – 06 - 7**